

**ESTUDIO PARA SUPLIR LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA ESTACIÓN DE
BOMBEO DEL MUNICIPIO DE CICUCO A TRAVÉS DE LA ADOPCIÓN DE
TECNOLOGÍAS HIDROKINETICAS**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el título profesional de ingeniero civil

AUTOR

Manuel de Jesús Romero Benítez

Asesor

Ing. Gerald Mestra Rodriguez

Coasesor

Jorge Gonzalez Coneo



Barranquilla 2016

**ESTUDIO PARA SUPLIR LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA ESTACIÓN DE
BOMBEO DEL MUNICIPIO DE CICUCO A TRAVÉS DE LA ADOPCIÓN DE
TECNOLOGÍAS HIDROCINETICAS**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el título profesional de ingeniero civil

AUTOR

Manuel de Jesús Romero Benítez



Barranquilla 2016

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a dios porque siempre brinda segundas oportunidades

A la memoria de Ana Raquel Benítez Martínez, Roberto Benítez, Orlando Benítez y Juan de Dios Benítez siempre los llevare conmigo.

A mis padres Leonardo Romero y Judith Benitez

A Sofía y Mariana son mi vida

A Liliana Patricia Cardeño que siempre ha estado ahí.

A mis hermanos Ange y Juan

A mis tíos

Agradecimientos

Agradezco a dios por todo, a mis padres porque son mi apoyo moral y económico, a mi esposa por que ha sido comprensiva, a mis hermanos y tíos por su apoyo, a los ingenieros Gerald Mestra, Jorge González, Andrés Rodríguez, por su dedicación y compromiso,

Agradezco a esta institución que me permitió formarme como profesional, a mis compañeros con los que compartí este proceso, al mis docente que porque han contribuido a mi formación profesional.

RESUMEN

En el presente documento presenta la evaluación técnica y económica de diferentes tecnologías para su implementación en la propulsión del fluido de manera sostenible en una planta de tratamiento de agua, ubicada en una zona no interconectada con la red eléctrica Nacional (zonas aledañas al río Chicagua en el municipio de Cicuco). En este Río se tomaron mediciones técnicas como la batimetría con el fin, de generar perfiles del cauce para profundidades de hasta 7 metros y mediciones de variables con sumo valor ingenieril, como: Las velocidades en el río de 0,7 m/s - 0,9 m/s, medidas por un correntómetro digital Hg950 en diferentes posiciones, y los datos de la potencia que demanda este sistema, otorgados por la empresa. Todo lo anteriormente escrito representa la primera etapa del proyecto enfocada a la recolección de los datos ingenieriles más importantes para dicha evaluación.

La segunda etapa de la investigación, fue encaminada a la realización de un estado del arte partiendo de los productos que ofrece el mercado y las restricciones técnicas de dichas tecnologías en relación, a los equipos (bomba hidráulica) que involucran de manera significativa la seguridad del proceso. También se toman en cuenta las condiciones del río y las tendencias en los precios de los recursos no renovables a fin, de generar un análisis conceptual para

su aplicación debido al potencial de ahorro de una tecnología no convencional (Vivace) sobre la actualmente usada en esta región.

Se resalta en la investigación el uso de una tecnología no convencional (Turbina Vivace) como la que mejor se adapta en relación al concepto tecno-económico de elección, en comparación con el grupo electrógeno, debido a el ahorro de \$13.549.055.546 pesos colombianos y en relación a la interconexión eléctrica un ahorro de \$ 993.031.944 pesos colombianos para un periodo proyectado de 20 años. Ahora bien, para la aplicación de dicha tecnología se escoge un lugar específico del rio Cicuco estipulado en esta investigación, en donde la velocidad del rio alcanza 1 m/s, que por ende convierte esta tecnología en la mejor elección en este estudio.

Palabras claves: velocidad, potencia, tecnología no convencionales, estado del arte, periodo proyectado, interconexión eléctrica, Turbina.

ABSTRACT

This document presents the technical and economic evaluation of different technologies for deployment in the propulsion fluid sustainably in a treatment plant water, located in a non-interconnected zone with the national grid (areas near the river Chicagua in the municipality of Cicuco). This Rio techniques such as bathymetry measurements were taken for the purpose of profiling the runway to depths of up to 7 meters and measurements of variables with high engineering value, as in the river speeds of 0.7 m / s - 0 , 9 m / s, measured by a digital current meter Hg950 in different positions, and data of the power demanded by the system provided by the company. Everything written above represents the first stage of the project focused on the collection of the most important engineering data for this assessment.

The second stage of the research was aimed at the realization of a state of the art based on the products offered by the market and the technical constraints of these technologies in relation to the equipment (hydraulic pump) involving significantly safety process. They also take into account the conditions of the river and trends in the prices of non-renewable resources in order, to generate a conceptual analysis for application due to the potential savings in an unconventional technology (Vivace) on currently used in this region.

Is highlighted in research using an unconventional (Turbine Vivace) technology as the one that best fits in relation to techno-economic concept of choice, compared to the generator, because saving \$ 13,549,055,546 Colombian pesos and in relation to the electrical interconnection a savings of \$ 993,031,944 Colombian pesos for a projected 20-year period. Now, for the application of this technology a specific place the River Cicuco stipulated in this research, where the speed of the river reaches 1 m / s, which therefore makes this technology the best choice in this study, is chosen.

Key words: speed, power, non-conventional technology, State of the art, projected period, electrical interconnection, turbine.

CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | FORMULACION DEL PROBLEMA | 15 |
| 2 | JUSTIFICACIÓN..... | 17 |
| 3 | OBJETIVOS..... | 19 |
| 3.1 | Objetivo General | 19 |
| 3.2 | Objetivos Específicos..... | 19 |
| 4 | Alcance de la investigación..... | 20 |
| 5 | Retos y desafíos en la investigación..... | 21 |
| 6 | LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO | 22 |
| 6.1 | Descripción general del municipio..... | 22 |
| 7 | MARCO TEÓRICO | 24 |
| 7.1 | Definiciones | 24 |
| 7.1.1 | Hidrografía | 24 |
| 7.1.2 | Hidrología..... | 24 |
| 7.1.3 | Régimen de flujo | 24 |
| 7.1.4 | Tipos de Energía. | 25 |
| 7.1.5 | Sistema hidráulico de generación | 26 |
| 7.2 | Clasificación de los dispositivos de conversión..... | 27 |
| 7.2.1 | Turbinas de eje horizontal | 27 |
| 7.2.2 | Turbina de eje vertical | 28 |
| 8 | Estado del arte de tecnologías hidro-cinéticas aplicable a corrientes de ríos..... | 32 |
| 8.1 | Revisiones de Energía renovables y Sostenibles | 32 |
| 8.2 | Tecnologías existentes aplicables a ríos..... | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 8.2.1 | Tecnología existente Turbinas de eje horizontales. | 34 |
| 8.2.2 | SeaGen. | 34 |
| 8.2.3 | Verdant Power. | 35 |
| 8.2.4 | Tidal Stream (Generador de corriente de marea). | 36 |
| 8.2.5 | Clean Current Tidal Turbine (Canada). | 37 |
| 8.2.6 | Tecnología existente Turbinas de eje verticales | 38 |
| 8.2.7 | Turbinas que no se basan en las leyes de Euler. | 41 |
| 8.3 | Especificaciones técnicas de algunas turbinas de conversión de energía de corriente. | 43 |
| 9 | Datos Técnicos del sistema de Aducción. | 46 |
| 9.1 | Datos técnicos de tuberías y accesorios. | 46 |
| 9.2 | Análisis de las tuberías, codos y gráfica Curvaturas Permisibles. | 47 |
| 9.3 | Característica bombeo en la barcaza. | 49 |
| 9.3.1 | Perfil piezómetro de aducción | 51 |
| 9.3.2 | Punto de operación de bomba. | 52 |
| 10 | Marco legal. | 53 |
| 11 | Metodología de la investigación. | 54 |
| 12 | Análisis de variables importantes y detalles de desarrollo | 56 |
| 12.1 | Población del municipio del Cicuco. | 56 |
| 12.1.1 | Proyección de la población método Lineal. | 57 |
| 12.1.2 | Proyección de la población método geométrico. | 58 |
| 12.1.3 | Proyección de la población método logarítmico. | 58 |
| 12.1.4 | Proyección de la población promedios | 59 |
| 12.2 | Consumo de agua. | 60 |

| | | |
|--------|---|----|
| 12.2.1 | Caudal medio..... | 61 |
| 12.2.2 | Caudal máximo horario | 61 |
| 12.3 | Gastos del sistema de aducción del municipio de Cicuco y predicción de los mismos en los siguientes años..... | 63 |
| 12.3.1 | Análisis de Costos proyectados generados por el sistema actual (sistema bomba y Análisis). | 64 |
| 12.3.2 | Proyección de kwh con una inflación 4% de para el suministro eléctrico. 66 | |
| 12.4 | Mediciones experimentales de las variables ingenieriles..... | 67 |
| 12.4.1 | Medición de velocidades del rio chicagua..... | 67 |
| 12.4.2 | Sección transversal del rio en civilcad 3d | 74 |
| 12.5 | Selección de la Tecnología debido a las restricciones técnicas del rio..... | 80 |
| 13 | DETALLES TECNOLOGÍA VIVACE | 81 |
| 14 | Estimación de los costos de las diferentes propuestas de ahorro con la tecnología no convencional seleccionada..... | 84 |
| 15 | Análisis de los resultados..... | 88 |
| 16 | Conclusiones..... | 89 |
| 17 | Bibliografía | 91 |
| 18 | Anexo..... | 92 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE CICUCO EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR. | 22 |
| FIGURA 2: ESQUEMA DE TURBINA HORIZONTAL CON ALGUNOS DE SUS COMPONENTES TOMADO DE MALDONADO 2005 | 28 |
| FIGURA 3: ANEMÓMETRO TOMADO DE HTTPS://WWW.PCE-INSTRUMENTS.COM/ | 29 |
| FIGURA 4: ROTOR SABONIUS OBTENIDO DE HTTP://BRICOENERGIA.7FORUM.BIZ/ | 30 |
| FIGURA 5: DARREUS APLICADA A EXTRACCIÓN DE ENERGÍA MARINA OBTENIDO DE HTTPS://EN.SCIO.PW/GORLOV_HELICAL_TURBINE | 31 |
| FIGURA 6: ROTOR MUSGROVER OBTENIDO DE MALDONADO 2005..... | 31 |
| FIGURA 7: EXPRESIÓN DE LA ENERGÍA POTENCIAL CONVENCIONAL Y HIDROKINÉTICA | 33 |
| FIGURA 8: EL S SEAGEN CON CRUCETA INSTALADO EN HARLAND Y WOLFF, DE BELFAST. | 35 |
| FIGURA 9: TURBINAS VERDANT POWER..... | 36 |
| FIGURA 10: EVOPOD - UN ENFOQUE FLOTANTE SEMI-SUMERGIDA PROBADO EN STRANGFORD LOUGH | 37 |
| FIGURA 11: CLEAN CURRENT TIDAL TURBINE (CANADA)..... | 38 |
| FIGURA 12: ENCURRENT HYDRO TURBINE..... | 39 |
| FIGURA 13: EFICIENCIA ENCURRENT HYDRO TURBINE | 39 |
| FIGURA 14: DAVIS HYDRO TURBINE..... | 40 |
| FIGURA 15: EL CONVERTIDOR DE VIVACE | 42 |
| FIGURA 16: VIVACE DISPOSITIVO FUE PROBADO EN EL RÍO ST. CLAIR EN PORT HURON, MICHIGAN. | 43 |
| FIGURA 17: CURVATURAS PERMITIDAS PARA TUBERÍAS PVC. | 47 |
| FIGURA 18: PERFIL PIEZOMÉTRICO TOMADO DEL INFORME HIDRÁULICO DE LA UNIÓN TEMPORAL AGUAS DEL CICUCO | 51 |
| FIGURA 19: ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE CICUCO POR EL MÉTODO ARITMÉTICO | 57 |
| FIGURA 20: ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN DEL CICUCO MÉTODO GEOMÉTRICO | 58 |
| FIGURA 21: ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE CICUCO POR EL MÉTODO LOGARÍTMICO | 58 |
| FIGURA 22 : PROMEDIO DE LOS MÉTODOS..... | 59 |
| FIGURA 23: GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS POR LOS 3 MÉTODOS | 59 |
| FIGURA 24: LUGAR DE LA CAPTACIÓN | 68 |
| FIGURA 25: GRÁFICA DE VELOCIDAD PRUEBA 1 | 70 |
| FIGURA 26 : GRÁFICA DE VELOCIDADES PRUEBA 2 | 73 |
| FIGURA 27: SECCIÓN 1 | 74 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 28: SECCIÓN 2 | 75 |
| FIGURA 29: SECCIÓN 3 | 75 |
| FIGURA 30: SECCIÓN 4 | 76 |
| FIGURA 31:SECCION 5 | 76 |
| FIGURA 32: SECCIÓN 6 | 77 |
| FIGURA 33: SECCIÓN 7 | 77 |
| FIGURA 34: SECCIÓN 8 | 78 |
| FIGURA 35: SECCIÓN 9 | 78 |
| FIGURA 36: SECCIÓN 10 | 79 |
| FIGURA 37: SECCIÓN 11 | 79 |
| FIGURA 38: FENÓMENO DE OSCILACIÓN | 81 |
| FIGURA 39: ENVOLVENTE DE GENERACIÓN DE ENERGIA | 82 |
| FIGURA 40 : PROTOTIPO PROPIEDAD DE VORTEX HYDRO ENERGY. | 83 |
| FIGURA 41 : MODELO COMERCIAL. | 84 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ALGUNAS TURBINAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE CORRIENTE | 44 |
| TABLA 2 DE DEFLECCIONES PARA TUBERIAS..... | 46 |
| TABLA 3: DATOS DE TRAMOS Y NODOS CORRESPONDIENTES A LA TUBERÍA DE ADUCCIÓN | 49 |
| TABLA 4. CURVA DE LA BOMBA. | 50 |
| TABLA 5: CONSUMO TOTAL EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO..... | 60 |
| TABLA 6: ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES FUTUROS..... | 63 |
| TABLA 7: ESTIMACIÓN DEL PRECIO DE A.CP.M..... | 65 |
| TABLA 8: ESTIMACION DEL PRECIO KWH..... | 66 |
| TABLA 9: ESPECIFICACIONES DEL CORRENTÓMETRO..... | 68 |
| TABLA 10: VELOCIDADES PRUEBA 1..... | 69 |
| TABLA 11: VELOCIDADES PRUEBA 2..... | 70 |

1 FORMULACION DEL PROBLEMA

En la actualidad existen cifras alarmantes de emisiones de dióxido de carbono y un acelerado crecimiento de los costos energéticos en todo el mundo sin desmeritar, la mala calidad de vida. *De acuerdo con los registros del portal GlobalPetrolPrices.com, las compañías de petróleo y las principales fuentes de los medios de 161 países, Colombia es una de las naciones donde menos ha bajado el precio*, por ello, se considera que es necesario la implementación de tecnologías que logren mantener un uso eficiente de energía a fin, de evitar un decrecimiento de la economía nacional y un aumento de la violación de los derechos civiles parte del estado y las empresas que prestan sus servicios energéticos y sanitarios. Estos cambios afectan significativamente al progreso de las zonas rurales. Entonces, la problemática general en las zonas no interconectadas obedece, entre otras causas, a la baja demanda (producto de una reducida disponibilidad y la precaria actividad industrial y comercial); a los altos niveles de pérdidas por deficiencia en redes y en el esquema de comercialización provocando, un deterioro de la relación cliente prestador y deficientes sistemas de medición.

Los asentamientos poblacionales en zonas montañosas del país gozan de más estabilidad eléctrica que las zonas de llanuras, debido a que las mayores cifras de industrialización y desarrollo del país se han dado, en estas zonas geográficas del del territorio, mientras que en zonas de poco relieve (llanuras), existen algunas regiones que no cuentan con servicio de agua potable. Es evidente que los ríos ubicados en la llanura tienen velocidades relativamente bajas comparadas con los ríos con un diferencial de altura, por lo que la captación de energía cinética es relativamente baja.

Existen muchas restricciones considerables, como las bajas velocidades de las corrientes, las alturas y otras de orden económico que evitan, el desarrollo de estas áreas, por esto, es importante impulsar tecnologías en nuestro país que venzan a corto plazo este tipo de limitantes a fin , de que nuestros niños en los

lugares más apartados puedan acceder a una mejor calidad de vida como es el caso de las zonas aledañas río Chicagua en la comunidad de , en donde la distribución del agua potable se ha visto afectada por consumos energéticos altos y el crecimiento de los precios de los combustibles.

Como alternativa de autoabastecimiento de energía para la estación de bombeo, respuesta al servicio de potabilización, posibles efectos dañinos en la población y restricciones técnicas del río, se plantea la siguiente pregunta problema: ¿Es factible técnicamente la implementación de un sistema de eléctrico a partir del potencial hidráulico del río Chicagua para el autoabastecimiento de energía de la estación de bombeo del municipio de Cicuco y, que a su vez, genere impacto ambiental mínimo?

2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en el estado colombiano, aun, existen regiones en donde se siguen violando derechos fundamentales relacionados a la calidad de vida. Estas faltas generadas por la irresponsabilidad social, debido al conflicto de las fuerzas armadas, provocando el olvido de poblaciones como: Choco, el Amazonas y partes de la región Caribe. Ahora bien, específicamente, expertos en los temas, concientizan el problema en regiones críticas para motivar la respuesta del estado, tal como, se puede observar en el siguiente texto: *“En contraste con la posesión de la biodiversidad Más extensa del planeta, el departamento del choco es el más pobre de Colombia, porque confluyen con mayor incidencia todo los males que afectan el resto del país. La corrupción política y administrativa del choco, es patética en una zona olvidada desde siempre por los gobiernos (Villamarín Pulido, 2002).*

Con el postconflicto y los procesos de paz, se evidencia, un principio de oportunidad por parte del estado colombiano para hacer presencia en las zonas más vulnerables y a su vez, buscar las alternativas de solución de los problemas que se presentan con la generación de la energía eléctrica y servicios sanitarios. Por esto, se piensa que, a corto plazo las tecnologías hidrocinéticas serán de gran ayuda con un apoyo legal y regulación, que por fortuna, el pasado 13 de mayo de 2014 se hizo efectiva la ley 1715 la cual, regula la gestión e implementación de tecnologías no convencionales en el área de energías renovables en el sistema energético nacional. El objeto de la ley es congruente con la situación que atraviesa el país tanto en el orden energético de las zonas no interconectadas y no tiene otro motivo sino de impulsar la gestión energética con su tecnología favoreciendo, bajas emisiones y de forma paralela el uso eficiente de energía que en la mayoría de las veces, traen como consecuencia una reducción de costos.

Este trabajo pretende buscar una solución eficaz en el municipio de Cicuco relacionados a los altos consumos de dinero y las tendencias en los precios de

los combustibles y de la tecnología electrógeno, que ocasiono la suspensión de la planta de tratamiento de agua, lo cual, implica una reacción inmediata por parte de la comunidad debido a los requerimientos sanitarios mínimos en esa región.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Realizar un estudio para suplir la demanda energética de la estación de bombeo del municipio de cicuco a través de la adopción de tecnologías hidrocineticas

3.2 Objetivos Específicos

- Revisar el estado de las tecnologías hidrocinéticas aplicables a la generación de energía en ríos de baja velocidad
- Determinar la demanda energética del sistema de bombeo encargado de la captación del agua proveniente del rio Chicagua.
- Seleccionar la tecnología hidrocinética a partir de las condiciones hidráulicas del rio.
- Seleccionar la mejor ubicación para la implementación del sistema a partir de la medición de las variables que se utilizan para la selección de la tecnología
- Realizar una propuesta inicial para la factibilidad técnica y económica de la tecnología seleccionada.

4 Alcance de la investigación.

- Delimitación Temporal:

El trabajo se realizó en un periodo comprendido desde el 05 de septiembre de 2015 hasta el 05 de febrero de 2016, acumulando un tiempo de trabajo de aproximadamente 6 meses.

- Delimitación Espacial:

La presente investigación se realizó en el municipio de Cicuco, ubicado en el departamento de Bolívar y como objeto de estudio el río Chicagua ubicado, en las coordenadas geográficas: 09°16'52,4" Latitud Norte y 74°39'03.5" Latitud Sur, a unos 190km de la capital. En esto se delimito el área de estudio en un polígono de 100 metros de ancho, cercana a la operación de extracción del agua por medio de la empresa que se encarga del tratamiento de agua.

5 Retos y desafíos en la investigación.

Uno de los retos más significativos en esta investigación son las restricciones técnicas que provocan el descarte de diferentes tecnologías para su implementación como: La velocidad del río, los precios, los instrumentos de alta tecnología para las mediciones, los espacios e inclusive el tiempo; esto, sin importar que potencial hidráulico tenga el cauce debido a la disminución de su utilidad ingenieril. Por otro lado, se considera que uno de los desafíos más considerables están encaminados a la adquisición de las tecnologías y la consecución de los datos, ya sea por políticas de privacidad de la empresa prestadora del servicio encargada del sistema de bombeo del agua o debido a la escasez de datos poblacionales que incrementan el efecto en la variación de los caudales producto de fenómenos ambientales como es el caso del, fenómeno del niño, la falta de datos en la morfología, estructura, suelo y ubicación del río. .

Para realizar el proyecto utilizando herramientas y conceptos concretos desde la perspectiva civil es necesario siempre realizar la tarea de medición en el río de las variables significativas, lo cual implica estar en diferentes puntos del río a fin de detectar aquellos lugares pertinentes y potenciales para el uso de la tecnología escogida.

6 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

6.1 ¹ Descripción general del municipio.

El Municipio de Cicuco se localiza sobre la vertiente oriental del río Magdalena, al Centro del Departamento de Bolívar, en la subregión de la Depresión Momposina, distante de la Capital Cartagena. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas: 09°16'52,4" Latitud Norte y 74°39'03.5" Latitud Sur, a unos 190km de la capital. Su cabecera municipal está localizada a los 09°15' 47" de latitud norte y 74°39' 25" de longitud oeste, a una altitud entre 20 y 35 metros sobre el nivel del mar (msnm) aproximadamente. Por otra parte, ²El municipio de Cicuco se encuentra referenciado en la plancha IGAC N° 53 a escala ESC_1:100.000 y su cabecera en la plancha IGAC N° 5-54-I-A ESC_1:25.000.

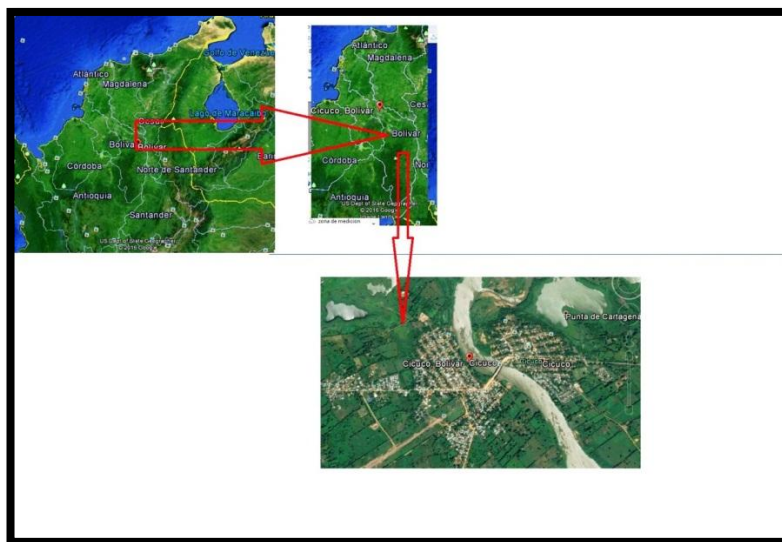


Figura 1: localización del municipio de cicuco en el Departamento de bolívar.

¹ Comparar <https://es.wikipedia.org/wiki/Cicuco>.

² Ver <http://www.igac.gov.co/igac>

Este asentamiento limita al Norte con Talaigua Nuevo, al Sur con el Municipio de Mompo y Brazo de Loba (Río Magdalena), al Este con el municipio de Talaigua Nuevo y al Oeste con el municipio de Magangué (Brazo de Loba en Medio).

A nivel urbano, se divide de la siguiente manera: El área correspondiente al Limón, cuenta con una extensión territorial correspondiente al 55%, está conformado por los siguientes barrios: San Tropel, Marisol, Los Mendoza, Nueva Esperanza, El Centro, La Victoria y Barrio Sur. Así mismo, el Sector Oriental correspondiente al área denominada antes Corregimiento Punta de Cartagena, cuenta con una extensión territorial correspondiente al 45% restante de la extensión, conformada por los siguientes barrios: Puerto Amor, Sector El Carmen, Sector Los Cañahuates y El Centro.

A nivel rural, existen cuatro Corregimientos y cuatro Veredas, los cuales en la actualidad no poseen una delimitación física establecida por Ley. Entre los corregimientos encontramos: San Francisco de Loba, La Peña, Campo Sereno, San Javier y Sector Los Manguitos.

7 MARCO TEÓRICO

7.1 Definiciones

A continuación se presenta las definiciones y términos ingenieriles necesarios, con el fin de orientar al lector en el contexto de la investigación de manera práctica y rápida, facilitando el análisis de forma asertiva.

7.1.1 Hidrografía

La hidrografía es una rama de las ciencias de la Tierra que consiste en el estudio de los cuerpos de agua considerando características importantes como: Caudal, cuenca, vertiente hidrográfica, cauce, régimen fluvial, dinámica fluvial, erosión, sedimentación fluvial, pendientes entre otros.

7.1.2 Hidrología

La hidrología es otra de las ramas de las ciencias de la Tierra, pero esta se enfoca en las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua, ya sea en la superficie de la Tierra, en la corteza terrestre o en la atmósfera, y su análisis recae en las variables que exponen grandes riesgos en diferentes ambientes como: la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.³

7.1.3 Régimen de flujo

En los ríos el régimen de flujo está vinculado a corrientes y la morfología de las áreas donde circula debido a que en ciertas zonas y en temporadas los caudales aumentan o se precipitan y en otras actúan como canales intermitentes debido a las sequías originando también un escurrimiento fluvial. En ausencia de

³ Ver <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidrolog%C3%ADa>

precipitaciones el flujo se comporta como flujo basal, lo cual, fue un misterio hasta finales del siglo XVII. En la antigüedad se creía que el mar era la fuente de los manantiales y ríos, a través de filtraciones subterráneas. Hoy se observa que provienen de un sin número de montañas existe una alta acumulación de agua y que su comportamiento es regulado por las lluvias y relieves topográficos. Por otro lado, las mediciones realizadas por Perrault en el año 1674, demuestran que las precipitaciones en la hoya del Sena eran 6 veces mayores que la descarga habitual del río, por tanto, suficientes para sostener su flujo basal a lo largo del año (Morisawa, 1968).

Una vez identificado las verdaderas fuentes de los ríos y la característica principal con sus respectivos comportamientos, es posible, explicar la evolución de los caudales en el tiempo. A lo largo del año, los caudales siguen un patrón estacional que constituye el régimen anual de flujo de ríos.

Habitualmente, los regímenes de flujo de acuerdo a su fuente predominante:

- **Régimen fluvial** >> es aquel que sigue el régimen de precipitaciones.
- **Régimen nival** >> se caracteriza por un aumento brusco de los caudales de primavera, producto del derretimiento de nieves en las montañas.
- **Régimen glacial** >> se caracteriza por aumento en la escorrentía de verano, debido al derretimiento de los hielos en cercanías del glaciar.

7.1.4 ⁴Tipos de Energía.

Existen diferentes tipos de energía como energía térmica, mecánica, hidráulica, química, nuclear, entre otras. Debido al contexto de esta investigación se enfoca en la energía hidráulica del agua de ríos y otros cauces.

Este tipo de energía contribuyó de forma significativa al desarrollo industrial y economía de muchos países; Desde la edad media y en la revolución industrial

⁴ Ver Las energías renovables: un enfoque político-ecológico, autor Emilio Menéndez Pérez, pág. 79.

(caro barojal) con molinos de cereal, de martillos, pilones en trabajo metalúrgicos, en el transporte de mercancía mediante barcaza y en hidroeléctricas el siglo pasado.

En relación con el fenómeno físico, la energía hidráulica se establece según la velocidad que tenga el fluido y la diferencia del potencial de sus partículas, lo cual se puede dividir como energía potencial y cinética.

Energía potencial: Es la energía que posee un cuerpo en razón de su posición de diferencial (altura) frente a nivel de referencia y su formulación matemática es:

$$E = mgh \quad (1)$$

Donde m es la masa;

g es la gravedad;

h es la altura respecto al nivel de referencia establecido

Energía cinética, que corresponde a la desarrollada en su movimiento, se rige por la ecuación

$$Ec = \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

Donde m es la masa;

v es la rapidez.

7.1.5 Sistema hidráulico de generación

Se define sistema hidráulico de generación como el arreglo de componentes mecánicos y eléctricos para la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica (Maldonado, 2005). Este sistema incluye el

acople de un motor-generator a una turbo-máquina motriz. De esta manera, se transforma la energía mecánica en energía eléctrica. De esta manera, un generador hidro-cinético es sistema hidráulico de generación que transforma la energía hidráulica de forma cinética de una corriente de 2 direcciones, en energía eléctrica. Es de aclarar, que las características de la energía de entrada y de salida varían según la selección de componentes que integran el sistema.

7.2 ⁵Clasificación de los dispositivos de conversión

En la actualidad existen diferentes tipos de turbinas y se clasifican según: el diseño, como entra el fluido, en la manera en que se transforma la energía y su potencia, entre otros. Algunos de estos ejemplos son: Imitadoras movimientos bio-mecánicos, de diferentes etapas de compresión, de eje vertical y de eje horizontal. Esta última, consiste en hacer girar un rotor de forma horizontal de modo tal que las hélices de la turbina quedan perpendiculares al rotor. Estas son utilizadas de manera significativa en el aprovechamiento de recursos eólicos e incentivas para su uso en los recursos marinos.

7.2.1 Turbinas de eje horizontal

Las turbinas de eje horizontal suelen nombrarse por medio del acrónimo inglés **HAT** (horizontal axis turbine), entre las máquinas de eje horizontal las hay lentas o rápidas, según la velocidad específica. (Relación entre la velocidad lineal de la punta del ala y la velocidad no perturbada del fluido). Las turbinas multi-paletas, caracterizada por su elevada solidez, presentan una baja velocidad de rotación y un elevado par de arranque, lo que le permite ponerse en marcha incluso con

⁵ Comparar Estado del arte Dispositivos de Conversión energía cinética de las corrientes marinas. (2016).

velocidades de un fluido muy bajas. Estas suelen usarse para bombear agua. Ya que son poco aptas para la generación de electricidad.

Las turbinas que se utilizan para la generación de electricidad son de rotación rápida y se caracterizan por su baja solidez, presentando una o dos tres paletas como máximo. Se ponen en marcha cuando la velocidad del fluido alcanza una velocidad con un valor determinado. O cuando la ayudan con un motor de arranque auxiliar.

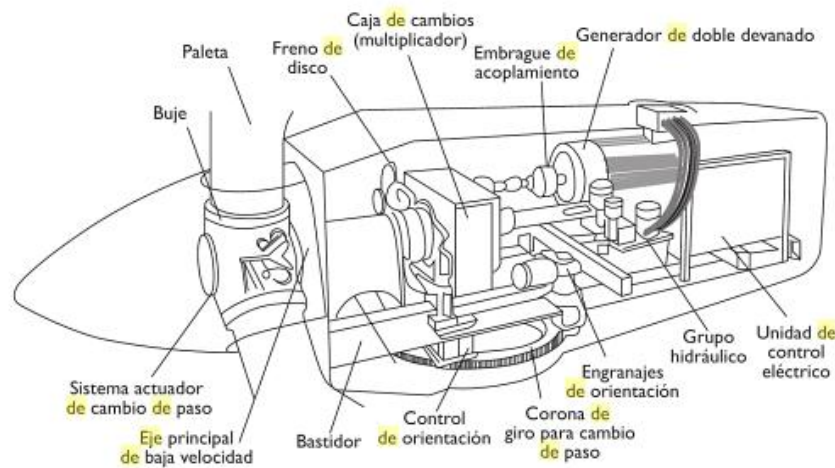


Figura 2: esquema de turbina horizontal con algunos de sus componentes tomado de Maldonado 2005

7.2.2 Turbina de eje vertical

Las de eje vertical suelen denominarse con acrónimo **VAT (vertical axis turbines)** en este tipo de máquinas, el movimiento del rotor se debe fundamentalmente a los efecto de fuerza de arrastre producido por el fluido en posiciones opuesta al eje de giro. Las turbinas que se mueven por arrastres giran más despacio que las que lo hacen por sustentación, pues una pala arrastrada por el fluido siempre se mueve a menor velocidad que este. El eje de esta turbina, situado verticalmente, le permite reaccionar a sin importar la dirección del fluido, ni necesidad de ser reorientada.

En comparación con las de eje horizontal, estas (verticales) presentan un menor rendimiento y tienen una mayor probabilidad de falla por fatiga, debida a la alta resonancia en la estructura.

7.2.2.1 Anemómetro de copa

En este la fuerza constante del momento que provoca la rotación del dispositivo, es la fuerza de arrastre o resistencia fluido. La forma de la copa da lugar a una relación prácticamente lineal entre las velocidades del fluido y la referencia de rotación, lo que facilita su uso para medir dicha velocidad.



Figura 3: anemómetro tomado de <https://www.pce-instruments.com/>.

7.2.2.2 Rotor savonius

No es una maquina muy eficiente consiste en dos hojas doblada de modo que una de ella presenta su parte cóncava al fluido mientras que la otra se enfrenta al mismo por su parte convexa. El par de arranque o empuje es la diferencia entre el mayor empuje ejercido por el fluido sobre la hoja cóncava y la menor resistencia opuesta por la hoja que se enfrenta al fluido por su parte convexa. es barato y sencillo de construir y su elevada solidez la dota de un momento de arranque muy fuerte, lo que le permite comenzar a rotar a baja velocidades del fluido y la hace útil para el bombeo de agua.

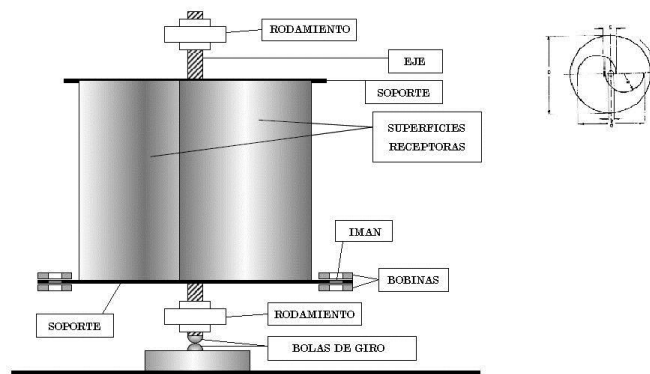


Figura 4: rotor sabonius obtenido de <http://bricoenergia.7forum.biz/>

7.2.2.3 Rotor Darrius

Esta tecnología fue inventada en 1925 por George Darrius y está formada por dos o tres paletas curvadas y montadas sobre el eje vertical por sus extremos y un motor de arranque para iniciar su movimiento. En relación con La fuerza responsable del momento se aprecia que son producto de las ascensionales o de la sustentación.



Figura 5: Darreus aplicada a extracción de energía marina obtenido de https://en.scio.pw/Gorlov_helical_turbine

7.2.2.4 Rotor musgrover.

El rotor de eje vertical en forma de H está formado por una torre central dentro de un eje que une a dos paletas verticales.⁶ A continuación se muestra una imagen esquemática de dicha tecnología.

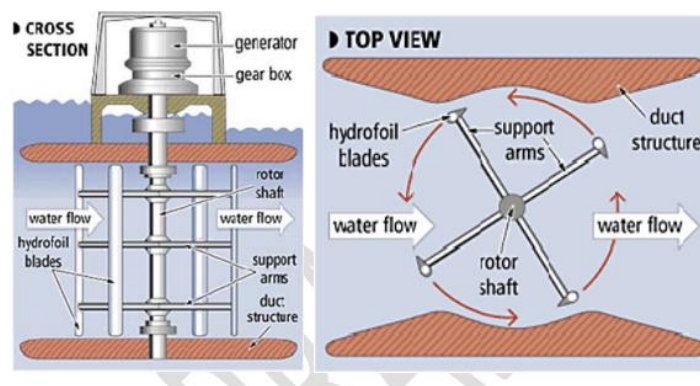


Figura 6: rotor musgrover obtenido de Maldonado 2005

⁶ Ver González Velasco, J. (2009). Energías renovables (p. 300). Barcelona: Reverte, 2009.

8 Estado del arte de tecnologías hidro-cinéticas aplicable a corrientes de ríos.

La mayor parte de las investigaciones que hoy se conocen, están aplicadas a aprovechar las energías del mar. Algunas de estas tecnologías se enfocan en aprovechar las corrientes de las olas, llamada en inglés Undimotriz, está para los objetivos del proyecto no tiene interés productivo, por lo tanto, las tecnologías relevantes y útiles (las que aprovechan las corrientes), que para este caso podrían ser velocidades inferiores a 1 m/seg.

8.1 Revisiones de Energía renovables y Sostenibles⁷

Sistemas de conversión de energía hidrocineéticos son los dispositivos electromecánicos que convierten la energía cinética de corrientes del río, corrientes de marea, canales artificiales de agua u ondas en electricidad, sin usar una cabeza especial, ni represamiento. Esta nueva tecnología se hizo popular sobre todo en las dos décadas pasadas, por lo que permite clasificarla en dos grupos principales como lo son: Los que aprovechan las corrientes y los dispositivos de conversión de energía mareomotriz, aunque se pueden clasificar también por su tecnología, principio de trabajo, impactos medioambientales, el potencial de la fuente, lo que no se muestra con detalles ya que, la finalidad de este proyecto no es mostrar todas las características específicas.

Tecnologías de energía hidrocineéticas tienen algunas ventajas sobre los métodos de producción de hidroelectricidad convencionales, ya que requieren una cantidad mínima de trabajo civil, no hay ningún coste suplementario para construir una presa o un depósito para acumular el agua y proporcionan una mayor fiabilidad en el proceso en relación a otras tecnologías no convencionales. La energía cinética es función del movimiento de agua en forma de la corriente y ondas. Aunque las turbinas hidrocineéticas tengan pequeña producción de potencia, ellos pueden

⁷ Khan MJ, Iqbal MT, Quaicoe JE. River current energy conversion systems: progress, prospects and challenges. Renew Sustain Energy Rev 2008;12 (21):2177–93.

ser instalados como series de multi-unidad como granjas de viento para aumentar la extracción de energía. Por otro lado, estos sistemas tienen impactos medioambientales mínimos comparados con presas debido a que, Las centrales hidroeléctricas de escala grande tienen efectos desfavorables sobre el entorno como; reubicación de la gente, inundación de los agrícolas, sedimentación de tierras fértiles, metano (CH₄) emisión de gas y el cambio el régimen del río en gran medida.

En relación a los modelos hidrodinámicos analíticos y numéricos, se han hecho muchos esfuerzos a fin de calcular la cantidad de poder extractable del río, recursos marítimos y de marea. Un modelo de energía del río cinético fue hablado recientemente por **Khan MJ**

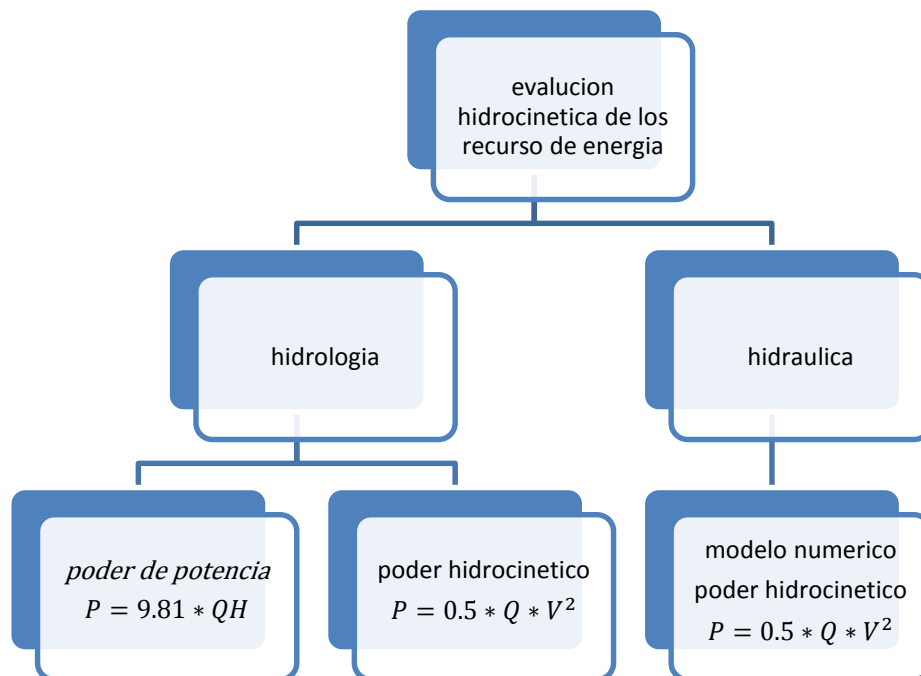


Figura 7: expresión de la energía potencial convencional y hidrocínética

8.2 Tecnologías existentes aplicables a ríos

La tecnología de energía hidrocinética que fue desarrollada en dos décadas pasadas, es uno de los sectores con un crecimiento considerable en la actualidad. La tecnología ha ganado una atención significativa sobre todo para la corriente y dispositivos de conversión de energía mareomotriz, sin embargo, la mayoría de los sistemas está en las etapas de investigación y desarrollo, y pocos en el área pre-comercial.

Con el establecimiento del Centro de Energía europeo Marítimo (EMEC) en el Reino Unido, Fundy el Centro de investigación del Océano (la FUERZA) en Canadá y la Coalición de Energía renovable del Océano (OREC) en EEUU, la industria hidrocinética ha ganado el ímpetu. Más de 50 millones de dólares han sido invertidos para el desarrollo de la tecnología por el USDOE (el Ministerio de Energía de los Estados Unidos), y en el Programa de Energía hidráulica.

8.2.1 Tecnología existente Turbinas de eje horizontales.

A continuación se observa las diferentes tecnologías existentes para turbinas de eje horizontales que mejor se adaptan a la investigación o son de algún uso similar.

8.2.2 ⁸SeaGen.

Los Componentes SeaGen S fueron fabricados en el Reino Unido y Europa. Los sistemas más fundamentales fueron rigurosamente probados cerca de las oficinas del MCT en Bristol. Para el 2007, todos los componentes necesarios para construir SeaGen S fueron entregados a las instalaciones de Harland and Wolff en Belfast para el montaje final y las pruebas. Este hotel también se utilizó como centro de instalación para el proyecto.

⁸ Seageneration.co.uk,. (2015). Sea Generation | SeaGeneration. Obtenido 15 diciembre 2015, de <http://www.seageneration.co.uk/>



Figura 8: El S SeaGen con cruceta instalado en Harland y Wolff, de Belfast.

8.2.3 ⁹Verdant Power.

La tecnología central de Verdant Power es un sistema de energía hidroeléctrica cinética (KHPS), que incorpora turbinas rotores de tres palas instaladas totalmente bajo el agua, invisibles desde la orilla. La turbina está diseñada para auto-rotar en la corriente dominante de manera que las cuchillas están alineadas de manera óptima para generar energía. Esta rotación impulsa un generador de inducción, situada dentro del cuerpo principal de la turbina para generar electricidad que se transfiere al equipo en tierra a través de un cable submarino. Los álabes de la turbina giran a una velocidad lenta y constante de aproximadamente 40 RPM, muy por debajo de velocidades normales de hélice recipiente de agua.

⁹ Verdant Power, (2015). Technology. Obtenido 16 diciembre 2015, de <http://www.verdantpower.com/technology.html>



Figura 9: turbinas Verdant Power

8.2.4 Tidal Stream (Generador de corriente de marea).

Un generador de corriente de marea, a menudo referido como un convertidor de energía de las mareas (TEC) es una máquina que extrae energía de las masas de agua, en particular en movimiento mareas, aunque el término se usa a menudo en referencia a máquinas diseñadas para extraer energía de ejecución de río o en los sitios de estuarios de marea. Ciertos tipos de estas máquinas funcionan mucho como bajo el agua las turbinas de viento, y se denominan como turbinas de mareas así a menudo. Fueron concebidos por primera vez en la década de 1970, durante la crisis del petróleo.



Figura 10: Evopod - Un enfoque flotante semi-sumergida probado en Strangford Lough

8.2.5 Clean Current Tidal Turbine (Canada).

En el 2001 fue creada la compañía Clean Current Power Systems (CCPS) para comenzar el desarrollo de una turbina submarina de eje horizontal y flujo conducido, anclada al fondo marino. Entre 2003/2004 dos prototipos fueron contruidos y probados en un canal de remolque de 200 m del Instituto para la Tecnología del Océano en St. John's Newfoundland. El dispositivo Clean Current fue la primera turbina instalada en la Race Rocks en Canada, una reserva ecológica en Septiembre del 2006 y fue removida en mayo del 2007 para modificaciones, tales como reajuste del sistema de rotación. CCPS planea instalar una turbina de 200 MW in 2008/2009. Un total de \$4 millones, han sido otorgados para el desarrollo de este dispositivo.



Figura 11: Clean Current Tidal Turbine (Canada).

8.2.6 Tecnología existente Turbinas de eje verticales

8.2.6.1 ¹⁰EnCurrent Hydro Turbine.

Es un sistema de pequeña escala para poblaciones alejadas y en ríos con velocidades relativamente altas (por su parte Nueva Energy Corporation Inc. es un fabricante de sistemas de generación de energía hidro-cinética in-stream, que convierten la energía cinética de las corrientes de agua en electricidad de la misma manera que las turbinas de viento convierten la energía cinética del viento).

¹⁰ Edge.rit.edu, (2015). obtenido 17 diciembre 2015, de <http://edge.rit.edu/edge>

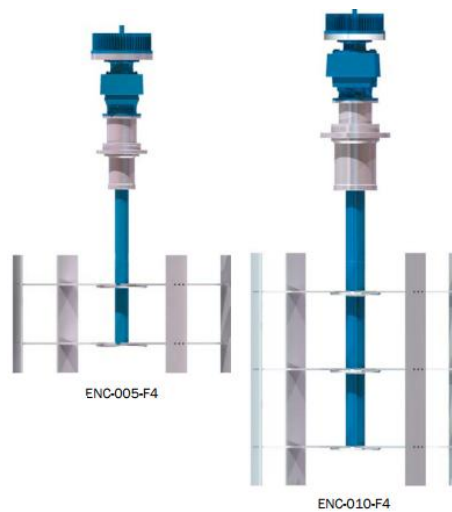


figura 12: EnCurrent Hydro Turbine

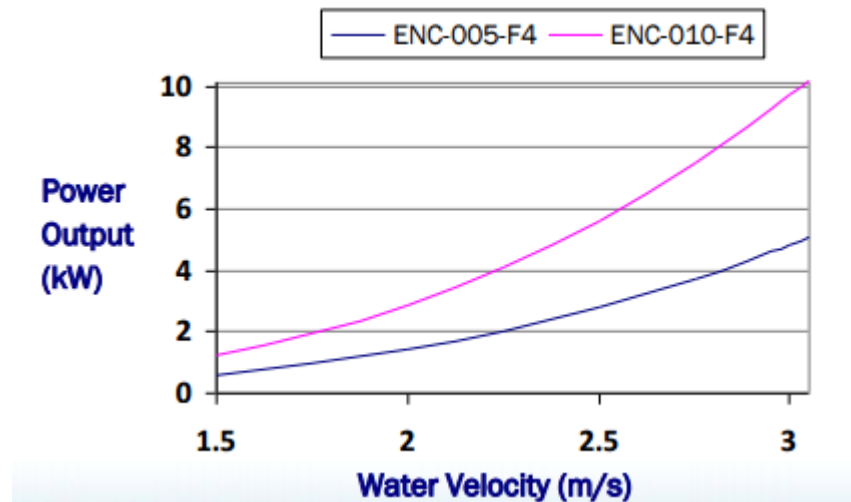


Figura 13: eficiencia EnCurrent Hydro Turbine

8.2.6.2 ¹¹Davis Hydro Turbine.

La turbina Blue Ocean Energía actúa como un molino de viento de eje sumamente eficiente submarino vertical. Cuatro láminas de hidrodreslizador fijas de la turbina son unidas a un rotor que conduce una caja de cambios integrada y el conjunto de generador eléctrico. la turbina son montados en caisson duradero concreto que

¹¹ Edge.rit.edu,,(2015). obtenido 16 diciembre 2015, de <http://edge.rit.edu/edge>

ancla a dispositivo al fondo del cuerpo de agua. y la estructura dirige el flujo por la turbina más lejos que concentra el recurso que apoya la caja de cambios de acoplador y el generador encima del rotor, Estos sientan encima de la superficie del agua y son fácilmente accesibles para el mantenimiento y reparan las láminas de hidro-deslizador, emplean a un principal de levantamiento hidrodinámico que hace que las hojas de metal de turbina se muevan, proporcionalmente más rápido que la velocidad del Ordenador circundante de agua optimizado, el diseño de flujo cruzado asegura que la rotación de la turbina es unidireccional tanto en el flujo y reflujos de la marea.

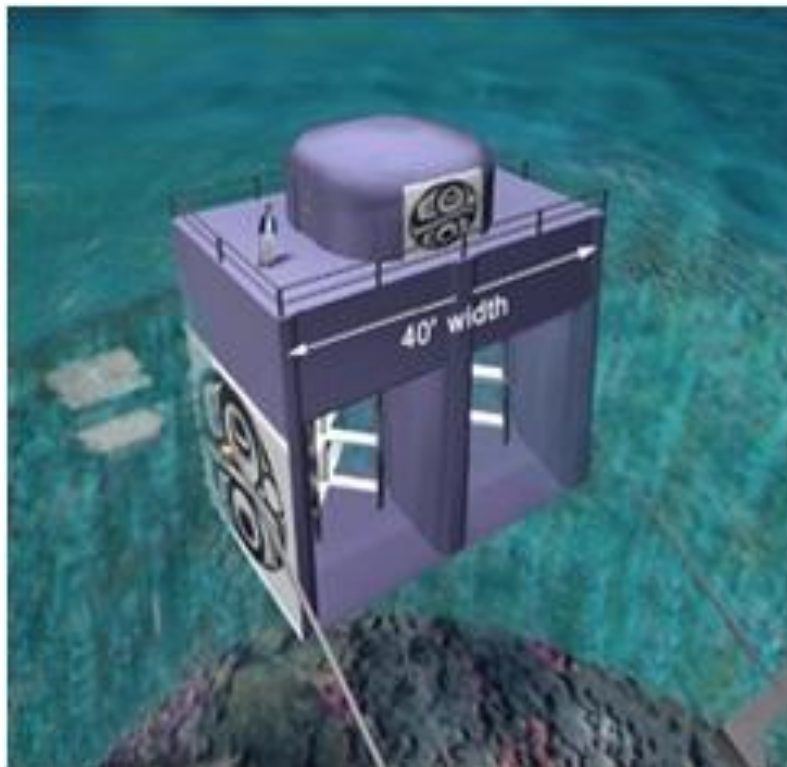


Figura 14: Davis Hydro Turbine

8.2.7 Turbinas que no se basan en las leyes de Euler.

A continuación se presentan las turbinas que son de interés y no se basan en las leyes de Euler en relación a sus características funcionales.

8.2.7.1 ¹²(Potencia Vortex) Turbina Vivace

Esta tecnología tiene como pilar a un equipo de la Universidad de Michigan llamada el VIVACE que significa Vortex Induced Vibrations acuática Energía Limpia (pendiente de patente a través de la Universidad de Michigan) en el año 2008.

El valor agregado que se encuentra en sus métodos o en el fenómeno físico utilizado es similar a una hidroeléctrica, en donde se genera energía eléctrica con el movimiento del fluido, pero se diferencia de este debido a, la colocación de obstáculos en los ríos / océanos, cambiando el patrón de flujo a fin generar vórtices. Esto provoca una energía elástica equivalente a el fenómeno físico en un resorte, teniendo en cuenta el desplazamiento continuo de los obstáculos al chocar con el flujo o corriente del río en relación a la elasticidad intrínseca del material y las relaciones dimensionales del mismo objeto, que multiplicado por el número de objetos en movimiento, se obtiene una cantidad útil de energía en lugares en donde quizás las condiciones atmosféricas o ambientales no son útiles debido a restricciones o limitaciones tecnológicas.

Específicamente ¹³ La turbina Vivace o el convertidor de VIVACE, aprovecha la energía hidrocínética de las corrientes de los ríos y al océano. Este convertidor se diferencia de las demás turbinas de agua, ya que no utiliza hélices sino, la vibración inducida por el vórtice, es decir que el flujo de agua que se encuentra

¹² Vortexhydroenergy.com, (2015). Obtenido 21 diciembre 2015, de <http://www.vortexhydroenergy.com>

¹³ Design of a Power Take Off System for the VIVACE Generator

alrededor o que choca en los cilindros inducen un movimiento transversal para que finalmente la energía generada en el movimiento del cilindro se transforme entonces en electricidad. En relación con el movimiento de los cilindros se observa que estos a su vez mueven de manera lineal a un conductor (metal) dentro de una bobina, induciendo una fuerza electromagnética que posteriormente provoca una corriente eléctrica (corriente directa) y un convertidor cambia la corriente directa en alterna. Para efectos prácticos se presenta un esquema del funcionamiento de dicha tecnología.

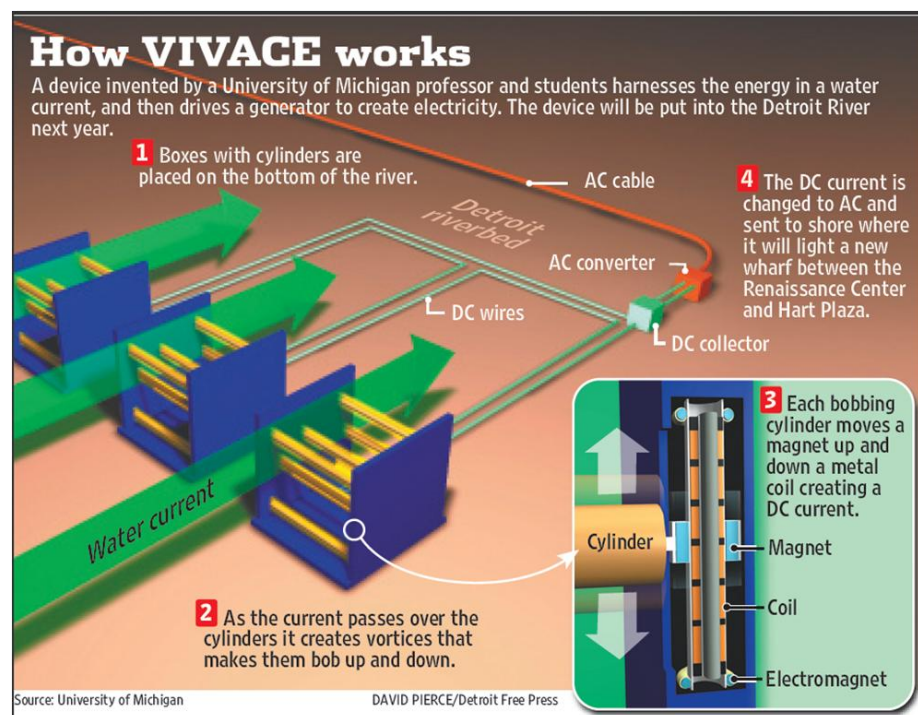


Figura 15: el convertidor de VIVACE

La compañía Vortex Hydro Power ha sido creada para comercializar la tecnología. En particular esta tecnología tiene alrededor de 10 a 20 años de esperanza de

vida cumpliendo los objetivos y los requerimientos referentes al ciclo de vida de dicho producto.

Se han realizado pruebas de rendimiento en diferentes laboratorios en donde se ha evidenciado la confiabilidad de dicho producto, para aprovechar la energía hidrocínética de las corrientes de agua , incluso en condiciones ambientales en donde el medio (rio) tienen velocidades entre 1-2 nudos y con un buen funcionamiento a velocidades menores de 1 m/s .El 2 de agosto de 2010, VHE realizó una prueba de aguas abiertas de su último convertidor de VIVACE. El dispositivo fue probado en el río St. Clair en Port Huron, Michigan.



Figura 16: Vivace dispositivo fue probado en el río St. Clair en Port Huron, Michigan.

Como se puede observar en la grafica anterior dicha tecnología ya se encuentra implementada y probada en espacios reales a fin de, establecer una mayor acogida en diferentes zonas del mundo, y promoviendo una alternativa segura y eficaz a un problema creciente de energía.

8.3 Especificaciones técnicas de algunas turbinas de conversión de energía de corriente.

Unas de las preocupaciones importantes a la hora de escoger la tecnología es, si esta va a funcionar y si es eficiente técnicamente, por lo que es de interés realizar las mediciones en el medio a instalar y realizar una revisión técnica y específica de

las tecnologías que posiblemente se adaptarían, sin embargo es posible que dicha tecnología no exista o que exista y sea una no convencional o poco común lo cual, aumenta el grado de complejidad de dicha investigación.

A continuación se puede observar algunas especificaciones técnicas de las turbinas anteriormente descritas para su análisis técnico.

| tipos de turbinas | Dimensions (m) ^a | Rated Power (kW) | Rated Velocity (m/s) | Cut-in Speed (m/s) | No. of blades |
|--|-----------------------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------|
| turbinas horizontales | | | | | |
| SeaGen | 18 | 1200 | 2.4 | 0.7 | 2 |
| Verdant Power | 5 | 35 | 2.2 | 0.7 | 3 |
| Tidal Stream | 20 | 1000–2000 | – | 1 | 2 |
| TideI System (twin propeller) | 18.5 | 2 500 | 2.3 | 0.7 | 2 3 |
| Hammerfest Strøm | 20 | – | 2.5 | – | |
| Tidal Stream Turbine (Tidal Generation Ltd.) | 18 | 1000 | 3.5 | 2.5 | 3 |
| Open Hydro (twin propeller) | 15 | 1520 | 2.57 | 0.7 | Multi |
| Amazon Aqua Charger | 1.8 | 0.5 | 1.5 | 0.45 | 3 |
| turbinas verticales | | | | | |
| EnCurrent Hydro Turbine (Non-ducted) | 1.6 0.8 | 12.5 | 4 | 2 | Multi |
| Davis Hydro Turbine | 6.1 | 250 | 3 | 1.5 | 4 |
| Exim Tidal Turbine | 1 3 6 5 | 44 | 3 | 0.7 | 2 |
| Ponte Di Archimede | | 25 | 2 | | 3 |
| turbinas helicoidales | | | | | |
| GCK Gorlov Helical Turbine | 1 2.5 | 180 | 7.72 | 0.5 | Multi |
| Lucid Energy Technologies GHK | 1,2,3 | 40–150–360 | 4.5 | 0.5 | Multi |
| turbinas ductos | | | | | |
| Underwater Electric Kite (twin propeller) | 4 | 400 | 3 | 1.54 | Multi |
| Rotech Tidal Turbine | 25 | 2000 | 3.1 | 1 | Multi |
| Clean Current Turbine | 18 | 1700–5000 | 3.5 | 1 | Multi |
| EnCurrent Hydro Turbine (ducted) | 3 1 | 18 | 2.8 | 1.5 | Multi |
| Clean Current Power System | 1.7, 2.9, 4 | 16, 44, 84 | 3 | 1.5 | 3 |
| Hydro reactor Stream Accelerator | 1, 1.5, 2 | 16, 37, 67 | 2.5 | 0 | Multi |
| otros | | | | | |

Tabla 1: Especificaciones técnicas de algunas turbinas de conversión de energía de corriente

Como se puede visualizar son pocas las tecnologías que se adaptan a los requerimientos de velocidad en el río y las que posiblemente podrían funcionar se concentran en un punto en donde la velocidad del río que oscila entre 0.7 a 1 m/s sin muchos datos técnicos debido a la privacidad de la empresa. Por otro lado las velocidades del río ponen en riesgo la operación y la eficiencia de las turbinas, que a diferencia de las demás la tecnología Vivace promete una pertinente operación en estas condiciones, debido a la forma captación de la energía cinética del río

9 ¹⁴Datos Técnicos del sistema de Aducción.

La aducción inicia en el bombeo en la barcaza flotante, en cota nivel de agua 12,2 metros en el río Chicagua y finaliza en la entrada en la planta de tratamiento de agua de esa zona en la cámara de aquietamiento en cota 18.70 para una diferencia de terreno de 6.5 mts.

9.1 Datos técnicos de tuberías y accesorios.

Las Tuberías para Acueducto de PVC a la curvatura longitudinal es una gran ventaja a la hora de realizar dicho análisis. Para el cálculo de la curvatura longitudinal a que pueden someterse las tuberías de PVC, sin considerar deflexión longitudinal en las uniones es la siguiente (tomada de especificaciones de PAVCO).

A continuación se muestran las deflexiones admitidas por las tuberías.

| DIMENSIONES | | | | |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------|-------|
| Diámetro Nominal pulg | Diámetro Exterior mm | Longitud Mts | RDE26 y 21 | RDE26 |
| | | | Grados | Mts |
| 8 | 219.08 | 5.40 | 7.06 | 0.33 |
| 6 | 168.28 | 5.40 | 9.19 | 0.27 |

Tabla 2 de deflecciones para tuberías

Tomado con permiso de unión temporal aguas de Cicuco.

β es el valor del ángulo en grados, formado por la longitud de la tubería L .

A : Distancia perpendicular desde la tangente del círculo hasta el extremo de la tubería,

¹⁴ Ver informe de hidráulica unión temporal aguas del Cicuco

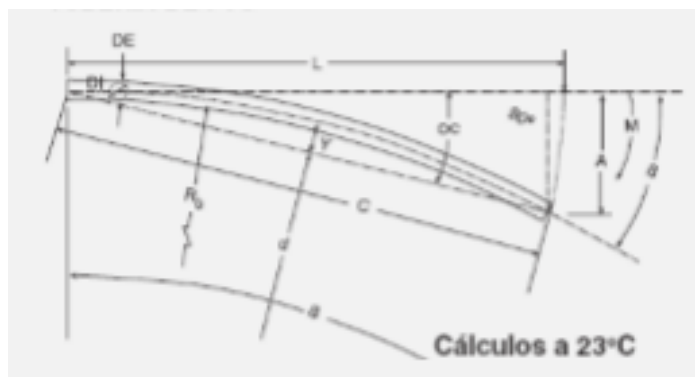


Figura 17: Curvaturas permitidas para tuberías PVC.

Tomado con permiso de unión temporal aguas de Cicuco.

9.2 Análisis de las tuberías, codos y gráfica Curvaturas Permisibles.

En base a lo anterior se plantea un ángulo de hasta 11 grados para una adquisición de las variables (deflexión permisible) de las dos tuberías. Donde no es posible obtener el ángulo por deflexión, se plantean codos en la tubería.

La aducción está propuesta en tubería PVC de 8" (200 mm) de longitud total 3.742 metros hasta la planta de tratamiento de agua y en su recorrido tiene 10 codos de 11.25°, 6 codos de 22,5° y 3 codos de 90° a la entrada de la planta. Los datos de los tramos y nodos del modelo se muestran en la siguiente tabla. Para ver la posición de cada elemento, ver plano E1 o consultar el modelo.

| Tramo | Nodo Inicial | Nodo Fin | Diámetro (mm) | Caudal (L/s) | Velocidad (m/s) | Longitud Tramo (m) | Coef Pérdidas Locales Tramo |
|-------|--------------|----------|---------------|--------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| P-1 | R-1 | PMP-2 | 200 | 29,87 | 0,95 | 4,5 | 1 |
| P-2 | PMP-2 | 1 | 200 | 29,87 | 0,95 | 321,0 | 0 |
| P-3 | 1 | 2 | 200 | 29,87 | 0,95 | 151,8 | 0 |
| P-4 | 2 | 3 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |
| P-5 | 3 | 4 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-6 | 4 | 5 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-7 | 5 | 6 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-8 | 6 | 7 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-9 | 7 | 8 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-10 | 8 | 9 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-11 | 9 | 10 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-12 | 10 | 11 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-13 | 11 | 12 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-14 | 12 | 13 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |
| P-15 | 13 | 14 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-16 | 14 | 15 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |
| P-17 | 15 | 16 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |
| P-18 | 16 | 17 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-19 | 17 | 18 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-20 | 18 | 19 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-21 | 19 | 20 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-22 | 20 | 21 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-23 | 21 | 22 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |
| P-24 | 22 | 23 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-25 | 23 | 24 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |

| | | | | | | | |
|-------|------|------|-----|-------|------|-------|-----|
| P-26 | 24 | 25 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-26a | 26 | 27 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-27 | 25 | 26 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-28 | 27 | 28 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0,1 |
| P-29 | 28 | 29 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-30 | 29 | 31 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-31 | 31 | 30 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-32 | 30 | 32 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-33 | 32 | 33 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-34 | 33 | 34 | 200 | 29,87 | 0,95 | 100,0 | 0 |
| P-35 | 34 | J-34 | 200 | 29,87 | 0,95 | 8,1 | 0,3 |
| P-36 | J-34 | J-35 | 200 | 29,87 | 0,95 | 32,3 | 0,3 |
| P-37 | J-35 | J-36 | 200 | 29,87 | 0,95 | 23,9 | 0,3 |
| P-38 | J-36 | R-2 | 200 | 29,87 | 0,95 | 3,4 | 0 |

Tabla 3: datos de tramos y nodos correspondientes a la tubería de aducción

Como se corroborar en la tabla anterior, las pérdidas son necesarias para la caracterización de la carga real de la bomba hidráulica por lo que se hizo el análisis del coeficiente de perdida teniendo en cuenta la ecuación de Euler y Bernulli.

9.3 Característica bombeo en la barcaza.

Para una correcta caracterización de la bomba se debe evidenciar el comportamiento de la bomba hidráulica del sistema de bombeo. Esto implica tener la curva característica de la cabeza de la bomba (H) en función del el caudal (Q) en relación a la eficiencia, tal como se describe en la siguiente grafica en donde La curva característica $H = f(Q)$ en la barcaza responde a la siguiente curva.

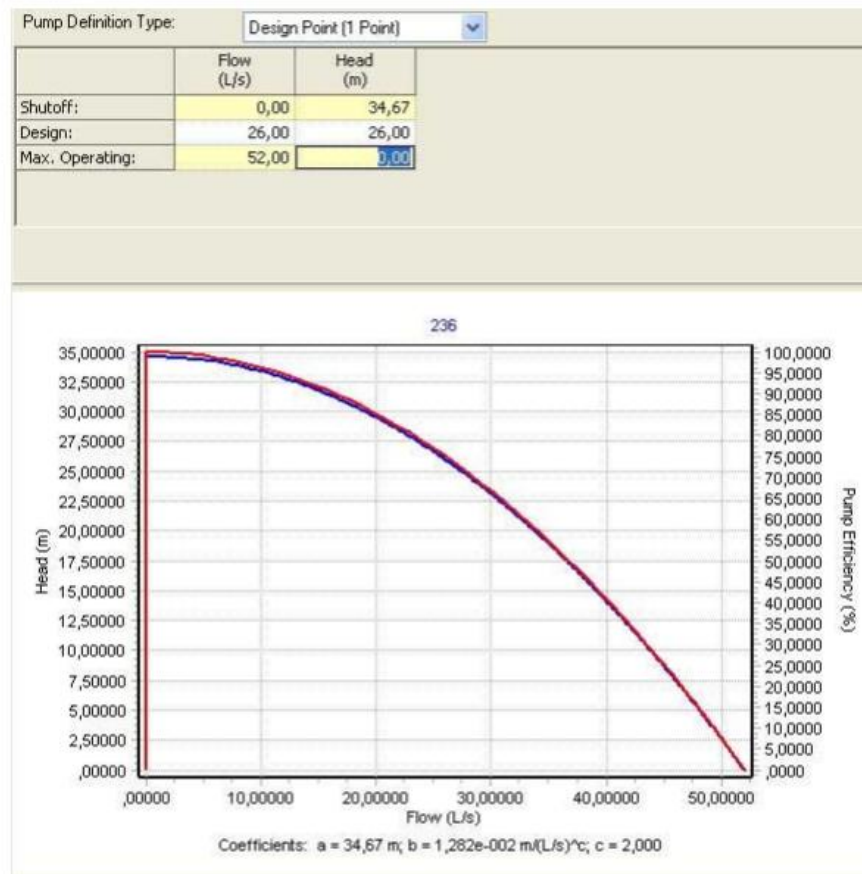


Tabla 4. Curva de la bomba.

Tomado con permiso de la unión temporal de aguas de Cicuco.

Como se puede observar el máximo punto de operación de la bomba se da a un flujo de $52 \frac{\text{Litros}}{\text{Segundos}}$ y una cabeza de 0 y para el punto de diseño sugerido sería a

$26 \frac{\text{Litros}}{\text{Segundos}}$ y una cabeza de 26 metros.

9.3.1 Perfil piezómetro de aducción

Antes de encontrar el punto de operación se muestra el perfil piezométrico en base a las pérdidas por accesorios, fricción, cambio de dirección, topografía del terreno, entre otros, para tener conocimiento real de la carga de la bomba y el punto de operación actual. En la siguiente grafica se muestra, el perfil de la tubería y la línea piezometrica desde la zona de bombeo hasta la planta industrial. Los números consignados sobre la línea de tubería o terreno, coinciden de manera óptima con el número de nodo del modelo hidráulico en Epanet.

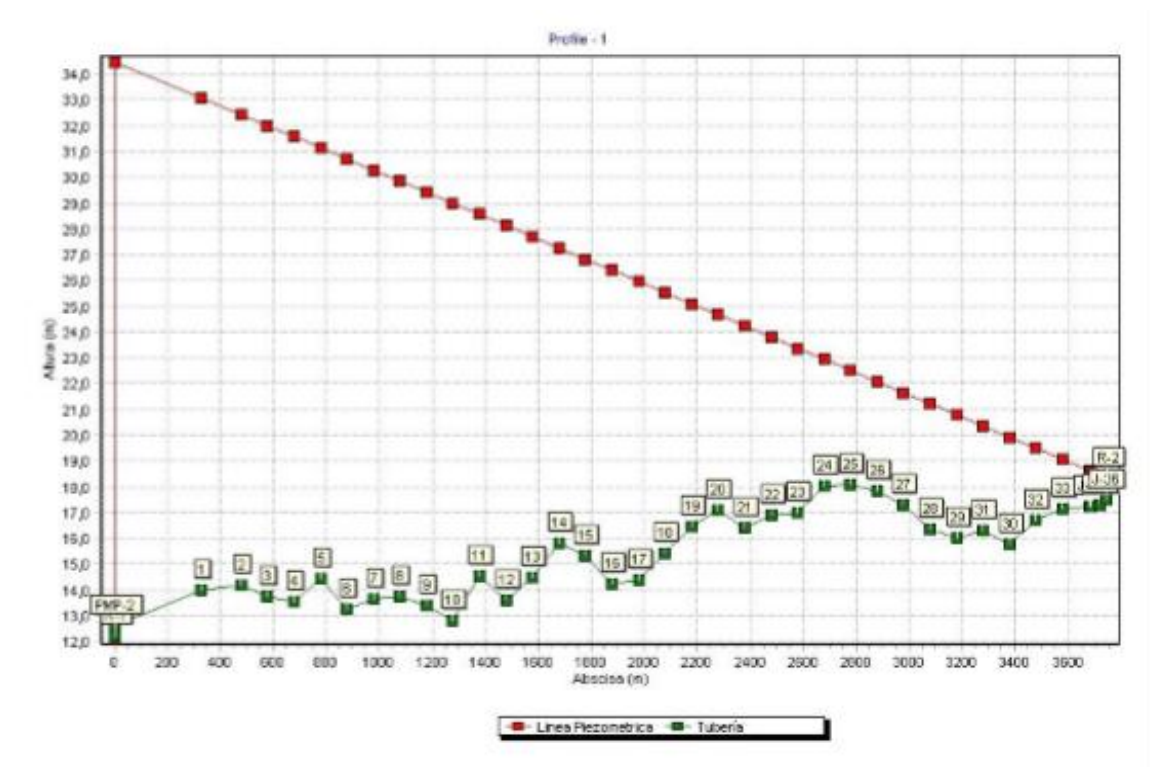


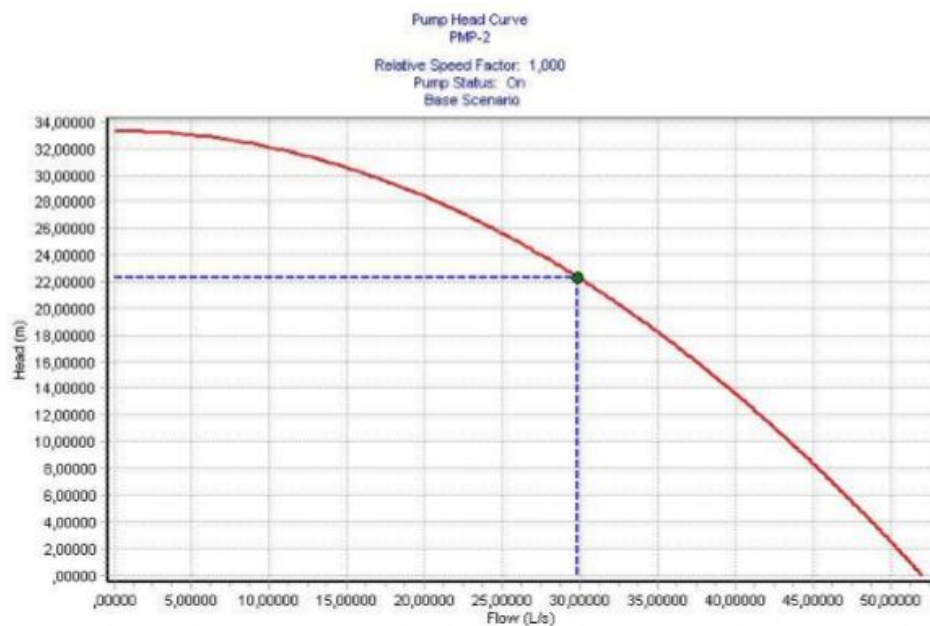
Figura 18: perfil piezométrico tomado del informe hidráulico de la unión temporal aguas del cicuco

Como se pudo observar en la gráfica, la relación de la tubería con las pérdidas en metros con la bomba evidencia que cumple con los requerimientos técnicos

mínimos para bombear el agua, sin embargo el punto de diseño se encuentra más arriba que el real, lo cual manifiesta un esfuerzo mayor al estipulado o recomendado en la propulsión del fluido por parte de la misma bomba.

9.3.2 Punto de operación de bomba.

Después de realizar los estudios encaminados a las pérdidas por tuberías y codos se establece en la siguiente figura, el punto de operación real de la bomba, con un caudal 29,9 l/s y altura manométrica (carga o cabeza) de 22,34 m.



Para estos datos de cabeza y flujo, la potencia de la bomba es de 9.36 KW. Por tanto, se ajusta a las electrobombas presupuestadas. Por otro lado, como el bombeo debe de garantizar un caudal igual al caudal máximo diario más las pérdidas en la aducción y procesos en la PTAP (aproximadamente 6%), es decir de $26 \text{ l/s} + 1,6 \text{ l/s} = 27,6 \text{ l/s}$ compagina a los cálculos para la bomba empleada en el diseño se garantizan 29,9 l/s.

10 Marco legal.

La ley 1715 del año 2014 y la ley 143 de 1994, establecen que la autogeneración es una actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. En el evento en que se generen excedentes de energía eléctrica a partir de tal actividad, estos podrán ser entregados, a la red, en los términos que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin, la cual fija restricciones técnicas para la instalación y apoyos económicos.

En relación a los apoyos económicos la ley 1715 establece incentivos a los proyectos en donde se reemplaza tecnologías que funcionan con combustibles fósiles a tecnologías no convencionales, además se muestran beneficios tributarios en relación a la declaración de rentas (disminución del 50% de la renta por 5 años) y la desaparición de los aranceles, siempre y cuando cumpla con los requerimientos de seguridad, el no cobro del impuesto del iva y la depreciación acelerada de los servicios y equipos.

Por otro lado se evidencia el impulso del estado en relación a los apoyos económicos en investigaciones o proyectos que colaboren con el cambio de motores diesel o tecnologías que tengan como fuente de energía combustibles fósiles por tecnologías renovables no convencionales.

La resolución 175 de 2014 expone diferentes regulaciones obligatorias para los agentes auto-generadores como la interconexión obligatoria de generadores o auto-generadores de alta escala, la inserción de los pequeños auto-generadores a programas de planeación obligatoria a la interconexión de la red eléctrica. Además establece requisitos necesarios para la interconexión y generación, como es el uso de un contador bidireccional, obligación del agente o empresa generadora de prestar el servicio continuamente sin importar quiebre y criterios de ventas según el usuario y temporada.

11 Metodología de la investigación.

La investigación se encaja dentro de la exploratoria y descriptiva debido a que no existen investigaciones significativas previas de la misma y porque se seleccionan una serie de conceptos o variables sin establecer una relación cuantitativa exacta debido al grado de complejidad de dicha investigación.

La metodología utilizada en la investigación fue encaminada a una estimación teniendo en cuenta un estándar científico: El resumen, el planteamiento del problema, la formulación del problema, justificación, alcance de la investigación, objetivos y el desarrollo del mismo en relación a la adquisición de datos y al análisis descriptivo y técnico de las tecnologías investigadas en diferentes artículos científicos, revistas, empresas y los costos de los combustibles, tal como se ha podido observar en el informe.

En la primera fase

En esta investigación se recopiló información de la empresa aguas del Cicuco, se adquirió información en las bases de datos y se estableció mecanismos de comunicación con expertos en el tema. Todo esto implica una interacción continua en donde se compara, se observa con detalle el estado actual del sistema de suministro de agua, se analiza la demanda energética de la captación, se evalúan datos, se retroalimenta y se concreta para una pertinente conclusión de la tecnología a escoger, descarte de las mismas o de una solución alterna a las propuestas.

Segunda fase

Se realizó una revisión de las tecnologías hidrocínéticas disponibles y los parámetros y requisitos necesarios para su implementación.

Tercera fase Consistió en el estudio de las condiciones hidráulicas del río Chicagua. Una parte comprendió la medición de velocidades con un correntómetro

FH950 propiedad de la universidad de la Costa. Esta medición se realizó a lo largo de 200m aguas debajo de la caseta de captación de la estación de bombeo. Se midieron cada 20 metros a lo largo de la sección transversal del río.

La segunda parte correspondió a la realización de la batimetría para determinar el perfil de cada sección del río. Las mediciones se realizaron cada 10 metros a lo largo de los 200 metros ya mencionados.

Cuarta fase

Se determinó la tecnología más adecuada para el proyecto basado en el parámetro fundamental: La velocidad del río.

Quinta fase

Finalmente se realizó un análisis de costos comparativo teniendo en cuenta, solo la demanda energética del sistema de propulsión del fluido. Grupo electrógeno, red de media tensión y tecnología hidrocínética seleccionada.

12 Análisis de variables importantes y detalles de desarrollo

A fin de realizar un estimativo no solo de la tecnología a escoger, sino de los posibles problemas económicos y de salud en un futuro se deben analizar diferentes factores o variables en la población, tendencia de los combustibles, cálculo del potencial del río para distintos caudales, detalles de las secciones transversales del río, modelo conceptual del sistema de generación de energía, proposición de un sistema estructural adecuado y presupuesto aproximado del sistema a fin de realizar una tarea oportuna y eficaz.

En los siguientes subíndices se establecerán dichos factores y sus respectivos análisis para finalmente describir su efecto contraproducente o a favor a la pregunta problema en secciones anteriores.

12.1 Población del municipio del Cicuco.

Como el consumidor final es la población aledaña al río es necesario también lograr una estimación de su crecimiento a fin de prepararse y mirar la rentabilidad de las inversiones, con el fin de que se le dé más importancia al tema, debido a los riesgos que implican la no operación de la planta de tratamiento de agua en dicha zona y la creciente demanda de suministro de agua en los siguientes años.

| Población (2005) | Valor |
|-------------------------|----------------------------|
| • Total | 10 891 hab. |
| • Densidad | 107,94 hab/km ² |

| | |
|----------|----------|
| • Urbana | 7523 hab |
|----------|----------|

12.1.1 Proyección de la población método Lineal.

Con el fin de realizar una proyección acertada de la población se opta por realizar dicha proyección con diferentes métodos y realizar una tendencia única para la población.

A continuación, se observa el comportamiento del crecimiento poblacional hasta el 2033.

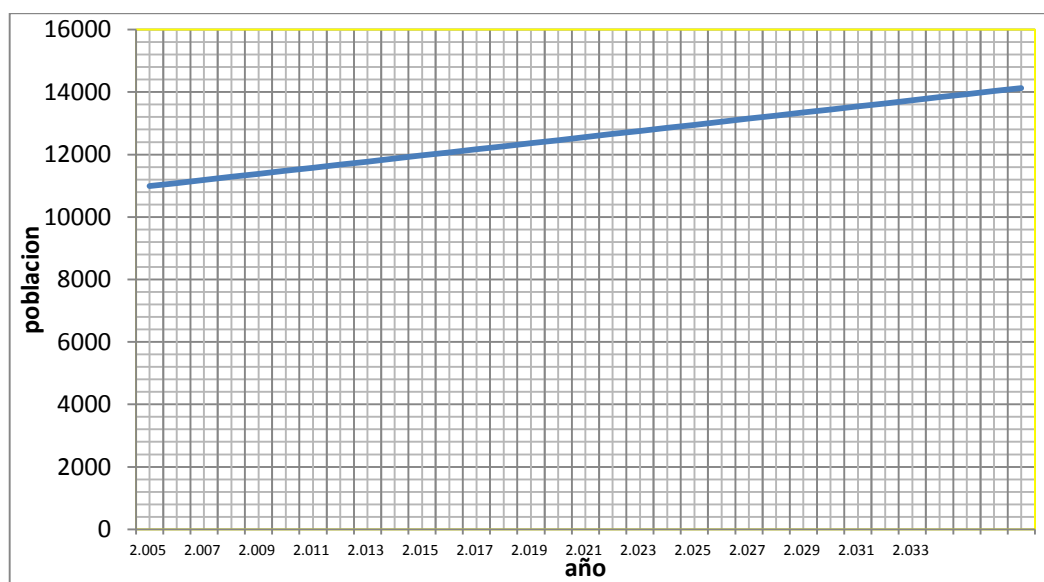


Figura 19: estimación de la población del municipio de cicuco por el método aritmético

12.1.2 Proyección de la población método geométrico

A continuación, se muestra la gráfica del crecimiento poblacional por el método geométrico.

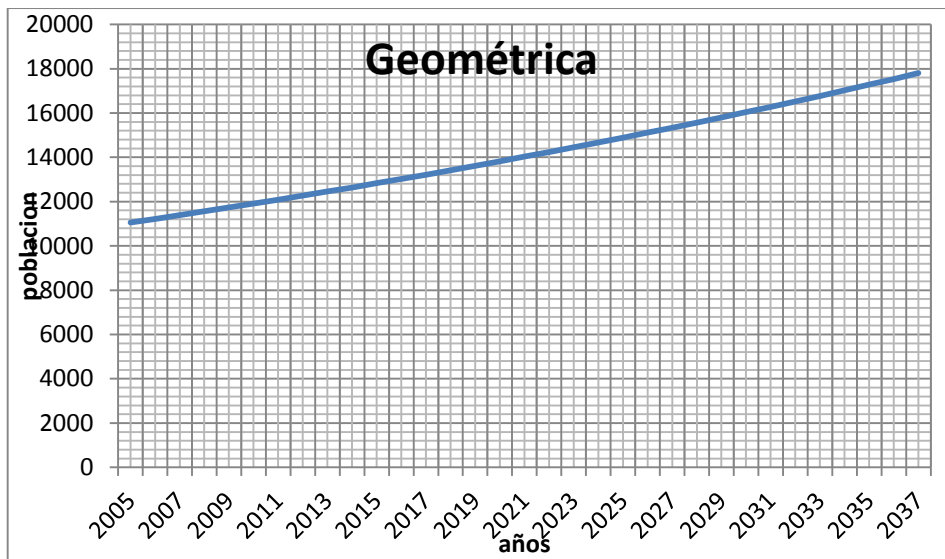


Figura 20: estimacion de la población del cicuco método geométrico

12.1.3 Proyección de la población método logarítmico

E n la siguiente, grafica se puede observar el crecimiento poblacional con el método logarítmico.

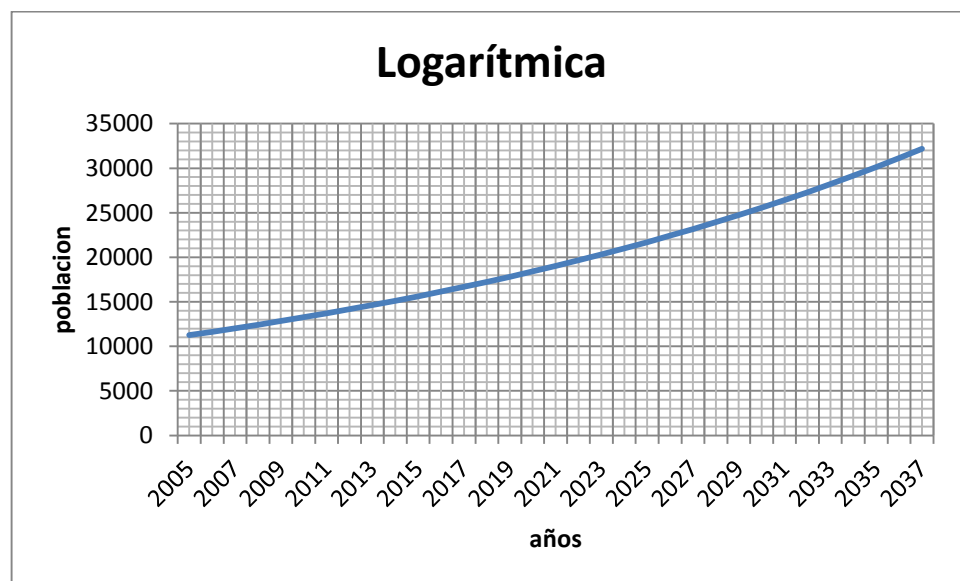


Figura 21: estimación de la población del municipio de cicuco por el método logarítmico

12.1.4 Proyección de la población promedios

A continuación se observan los promedios de los métodos anteriores.

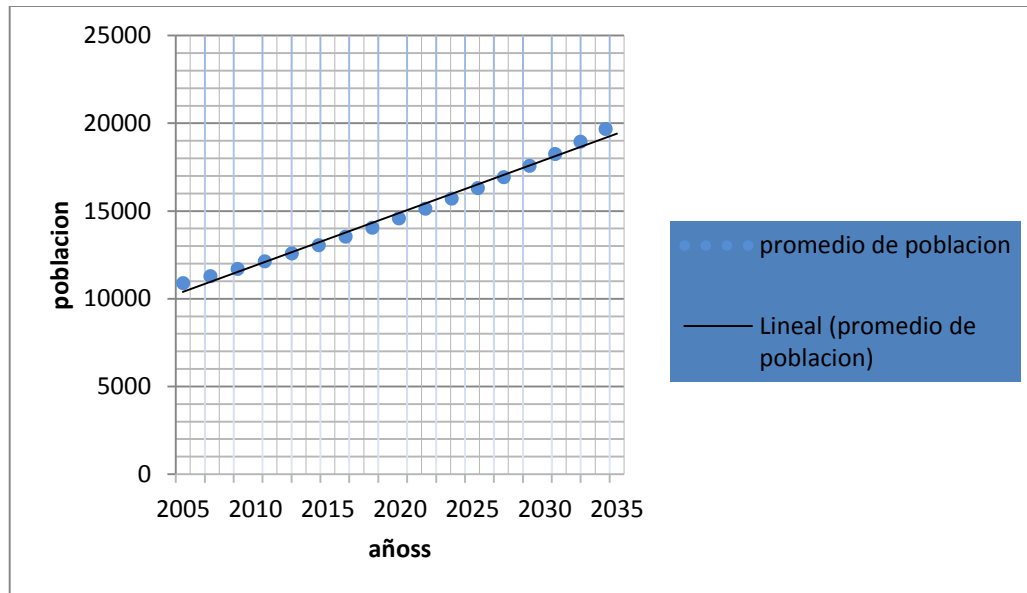


Figura 22 : promedio de los métodos

Como se puede observar, existe una pendiente relativamente alta, esto implica un mayor cuidado en la planeación territorial y de los recursos que se tienen a fin de, ampliarlos.

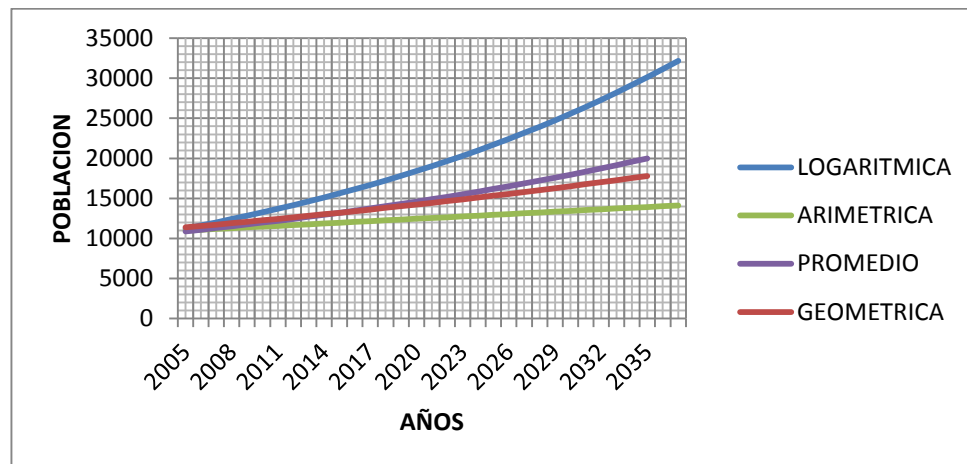


Figura 23: grafica de comparación de los resultados por los 3 métodos

12.2 Consumo de agua.

El complemento necesario para establecer el caudal de diseño de un acueducto es la determinación del consumo de agua. El consumo es el volumen de agua utilizado por una persona en un día y se expresa por lo general en litros por habitante y por día (Lt/hab.d). La determinación del consumo se debe hacer con base en datos estadísticos del consumo pasado y presente de la población (en el caso de que se disponga de esta información) o, si no, basándose en estos mismos datos de otras poblaciones vecinas. López Cualla, R. (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

En relación con el consumo de agua se presenta en forma general según el desarrollo económico de la zona y de la temperatura de las mismas.

| Condiciones | Consumo (L/hab.d) |
|---|-------------------|
| Zona rural | 100-150 |
| Temperatura menor de 20°C. Poco desarrollo Ind. y Com. | 180-200 |
| Temperatura mayor de 20°C. Poco desarrollo Ind. y Com. | 200-250 |
| Desarrollo industrial y comercial importante | 250-300 |

Tabla 5: consumo total en función de la temperatura y el desarrollo socioeconómico

Con ello, se presenta la estimación de los diferentes caudales necesarios en el tratamiento de agua a fin, de suplir una necesidad básica como lo es el agua potable.

12.2.1 Caudal medio

Es el caudal promedio obtenido de un año de registros y es la base para la estimación del caudal máximo diario y del máximo horario. Este caudal expresado en litros por segundo se obtiene así:

$$Q_{promedio} = \frac{\text{Consumo} \left(\frac{L}{hab} \right) \cdot d * \text{poblacion (hab)}}{86400}$$

Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año. En otras palabras, representa el día de mayor consumo en el año y se calcula según la siguiente expresión:

$$Q_{MAXIMO DIARIO} = 1.2 * Q_{PROMEDIO}$$

12.2.2 Caudal máximo horario

Corresponde a la demanda máxima que se presenta en una hora durante

Un año completo, y en general se determina como:

$$Q_{MAXIMO DIARIO} = 1.5 * Q_{MAXIMO DIARIO}$$

A continuación se muestran los resultados del caudal máximo teniendo en cuenta la población en diferentes años, a fin de estimar la demanda futura.

| PROMEDIO DE POBLACIÓN | AÑO | CAUDAL MEDIO LT/SEG | CAUDAL MÁXIMO DIARIO LT/SEG | CAUDAL MÁXIMO HORARIO LT/SEG |
|-----------------------|------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 10891 | 2005 | 25,21064815 | 30,25277778 | 54,455 |
| 11099 | 2006 | 25,69283539 | 30,83140247 | 55,49652445 |
| 11312 | 2007 | 26,18626957 | 31,42352348 | 56,56234227 |
| 11531 | 2008 | 26,69129122 | 32,02954947 | 57,65318904 |
| 11754 | 2009 | 27,20825175 | 32,64990209 | 58,76982377 |
| 11983 | 2010 | 27,73751372 | 33,28501646 | 59,91302963 |
| 12217 | 2011 | 28,27945129 | 33,93534155 | 61,0836148 |
| 12456 | 2012 | 28,83445056 | 34,60134067 | 62,2824132 |
| 12702 | 2013 | 29,40290993 | 35,28349191 | 63,51028544 |
| 12954 | 2014 | 29,98524055 | 35,98228866 | 64,76811958 |
| 13211 | 2015 | 30,58186672 | 36,69824007 | 66,05683212 |
| 13475 | 2016 | 31,19322633 | 37,4318716 | 67,37736887 |
| 13746 | 2017 | 31,81977127 | 38,18372552 | 68,73070594 |
| 14024 | 2018 | 32,46196793 | 38,95436151 | 70,11785073 |
| 14308 | 2019 | 33,12029765 | 39,74435718 | 71,53984292 |

| | | | | |
|-------|------|-------------|-------------|-------------|
| 14600 | 2020 | 33,79525722 | 40,55430866 | 72,99775559 |
| 14899 | 2021 | 34,48735938 | 41,38483126 | 74,49269626 |
| 15205 | 2022 | 35,19713336 | 42,23656003 | 76,02580805 |
| 15520 | 2023 | 35,92512538 | 43,11015046 | 77,59827083 |
| 15842 | 2024 | 36,67189927 | 44,00627912 | 79,21130242 |
| 16173 | 2025 | 37,43803698 | 44,92564438 | 80,86615988 |
| 16513 | 2026 | 38,22413923 | 45,86896707 | 82,56414073 |
| 16861 | 2027 | 39,03082608 | 46,8369913 | 84,30658433 |
| 17219 | 2028 | 39,85873762 | 47,83048514 | 86,09487325 |
| 17586 | 2029 | 40,70853456 | 48,85024147 | 87,93043464 |
| 17963 | 2030 | 41,58089897 | 49,89707876 | 89,81474178 |
| 18350 | 2031 | 42,47653495 | 50,97184194 | 91,74931549 |
| 18747 | 2032 | 43,39616936 | 52,07540323 | 93,73572581 |
| 19155 | 2033 | 44,34055255 | 53,20866306 | 95,77559352 |
| 19574 | 2034 | 45,31045919 | 54,37255103 | 97,87059185 |
| 20004 | 2035 | 46,30668899 | 55,56802679 | 100,0224482 |

Tabla 6: estimación de los caudales futuros

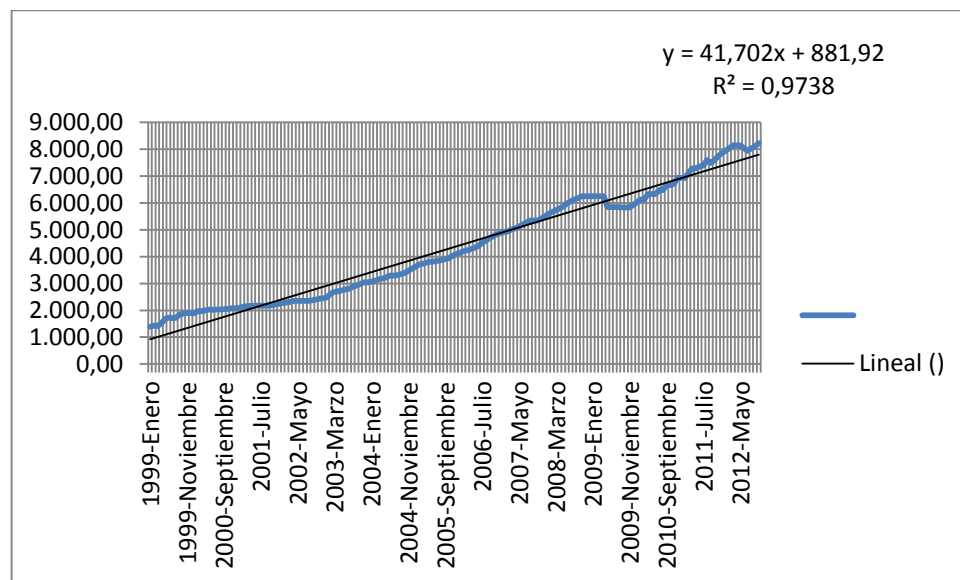
12.3 Gastos del sistema de aducción del municipio de Cicuco y predicción de los mismos en los siguientes años.

Una de las cosas más importantes es el precio y el consumo del A.C.P.M por parte del grupo electrógeno, debido a que la raíz del problema tuvo lugar en ello. Ahora bien, para realizar una tendencia de los precios del combustible debe realizarse un estudio histórico del mismo.

12.3.1 Análisis de Costos proyectados generados por el sistema actual (sistema bomba y Análisis).

Específicamente la capacidad volumétrica de la planta de tratamiento de agua del sistema de captación es de 140 m³ (capacidad volumétrica de la planta de tratamiento), unido con la características de la bomba en el tiempo necesario (aprox. 1 hora y media de bombeo a máxima potencia), se consumen actualmente 3,5 galones de A.C.P.M/hora, para un total 5,3 galones aprox., y si bien, el costo del combustible es \$7300 /galón, en la hora, se tiene un costo de un total \$ 38690 pesos colombianos.

A continuación se muestra la correlación lineal de la proyección de los costos mensuales desde enero de 1999 hasta Mayo del 2012.



Como se puede observar en la grafica, la tendencia lineal se acoge correctamente con un $R^2 = 0.9738$. Por otro lado se puede apreciar que los valores aumentan casi de manera lineal.

Para la determinación de una tendencia de los costos actuales se toman los siguientes datos por año y su precio en galones teniendo en cuenta la proyección anterior, a fin de realizar un análisis posterior.

| Año | \$/gl | Año | \$/gl |
|------|--------------|------|--------------|
| 2015 | \$ 9.305,70 | 2026 | \$ 14.810,37 |
| 2016 | \$ 9.806,13 | 2027 | \$ 15.310,79 |
| 2017 | \$ 10.306,55 | 2028 | \$ 15.811,22 |
| 2018 | \$ 10.806,98 | 2029 | \$ 16.311,64 |
| 2019 | \$ 11.307,40 | 2030 | \$ 16.812,06 |
| 2020 | \$ 11.807,82 | 2031 | \$ 17.312,49 |
| 2021 | \$ 12.308,25 | 2032 | \$ 17.812,91 |
| 2022 | \$ 12.808,67 | 2033 | \$ 18.313,34 |
| 2023 | \$ 13.309,10 | 2034 | \$ 18.813,76 |
| 2024 | \$ 13.809,52 | 2035 | \$ 19.314,18 |
| 2025 | \$ 14.309,94 | | |

12.3.2 Proyección de kwh con una inflación 4% de para el suministro eléctrico.

Para realizar una proyección del Kwh se toma como referencia una inflación de 4% teniendo presente la última inflación generada en los costos por el servicio de electricidad. Estos datos se pueden observar en la siguiente tabla en donde se muestra desde el año 2015 hasta el 2035.

| año | valor kwh |
|------|-----------|
| 2015 | \$ 454,42 |
| 2016 | \$ 472,60 |
| 2017 | \$ 491,50 |
| 2018 | \$ 511,16 |
| 2019 | \$ 531,61 |
| 2020 | \$ 552,87 |
| 2021 | \$ 574,99 |
| 2022 | \$ 597,99 |
| 2023 | \$ 621,91 |
| 2024 | \$ 646,78 |
| 2025 | \$ 672,65 |
| 2026 | \$ 699,56 |
| 2027 | \$ 727,54 |
| 2028 | \$ 756,64 |
| 2029 | \$ 786,91 |
| 2030 | \$ 818,38 |
| 2031 | \$ 851,12 |
| 2032 | \$ 885,16 |
| 2033 | \$ 920,57 |
| 2034 | \$ 957,39 |
| 2035 | \$ 995,69 |

Tabla 8: estimación del precio kwh

En la anterior tabla se puede concluir que el precio del Kwh para el 2035 será más del doble en comparación con el actual.

12.4 Mediciones experimentales de las variables ingenieriles.

En la siguiente sección se puede observar los detalles específicos del proceso de medición y de los equipos utilizados en ciertas zonas del río. Aquí se evidencia la ubicación, la morfología, datos cuantitativos de la velocidad del río en diferentes puntos y características de nivel y secciones transversales del río.

12.4.1 Medición de velocidades del río chicagua

Las velocidades se midieron por medio un correntómetro digital **marca hach modelo FH950.0 S/N: 132401001672** de propiedad de la universidad de la costa (cuc). La toma de velocidades se realizaron en un lugar cerca de la captación, esta escogencia obedeció a que sería la parte más óptima desde el punto de vista económico.

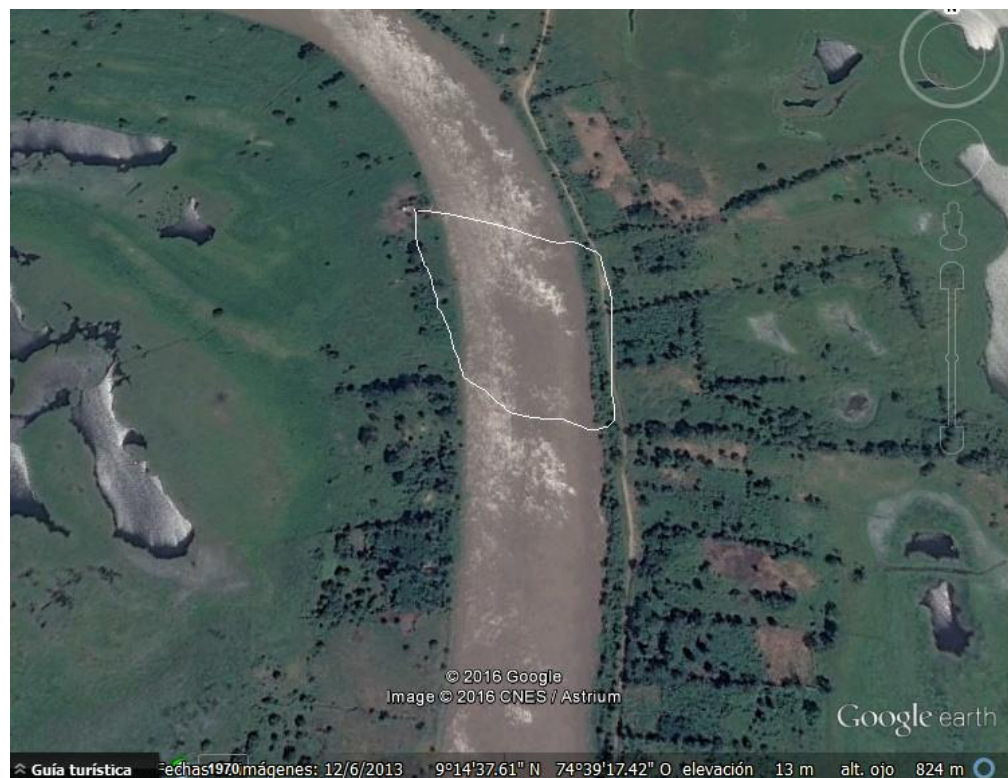


Figura 24: lugar de la captación

| |
|-----------------------------|
| Real-Time |
| Model: FH950 |
| s/n: 132401001672 |
| Boot: v1.00 |
| Application: v1.02 |
| Sensor Type: Velocity Only |
| s/n: 132400300404 |
| Boot: v1.00 |
| Application: v1.02 |
| Filter: FPA Parameter: 10 s |
| Pre-filter: On Rank: 5 |
| EMI: 60Hz. |

Tabla 9: especificaciones del correntómetro

La medición se realizó en una área de aproximadamente 400 m², para ello se utilizó un bote propulsado con un motor, cerca de la caseta de bombeo. En relación a los datos (velocidad del río), estos se registraron en tiempo real teniendo en cuenta la experiencia de los habitantes y recomendaciones, debido a la gran incertidumbre en el espacio y tiempo. Por otro lado se escogieron estas variables, ya que son fundamentales por ser uno de los parámetros técnicos más importantes a la hora de seleccionar la tecnología.

Tabla 10: velocidades prueba 1

| Sample | Timestamp | Velocity (m/s) |
|--------|---------------------|----------------|
| 1 | 13:31:02 11.28.2015 | 0,77 |
| 2 | 13:31:11 11.28.2015 | 0,77 |
| 3 | 13:31:17 11.28.2015 | 0,83 |
| 4 | 13:31:25 11.28.2015 | 0,87 |
| 5 | 13:31:30 11.28.2015 | 0,87 |
| 6 | 13:31:34 11.28.2015 | 0,75 |
| 7 | 13:31:37 11.28.2015 | 0,75 |
| 8 | 13:31:42 11.28.2015 | 0,82 |
| 9 | 13:31:46 11.28.2015 | 0,82 |
| 10 | 13:31:52 11.28.2015 | 0,55 |
| 11 | 13:32:00 11.28.2015 | 0,55 |
| 12 | 13:33:02 11.28.2015 | 0,12 |
| 13 | 13:33:31 11.28.2015 | 0,81 |
| 14 | 13:33:45 11.28.2015 | 0,86 |
| 15 | 13:33:49 11.28.2015 | 0,86 |
| 16 | 13:33:52 11.28.2015 | 0,86 |

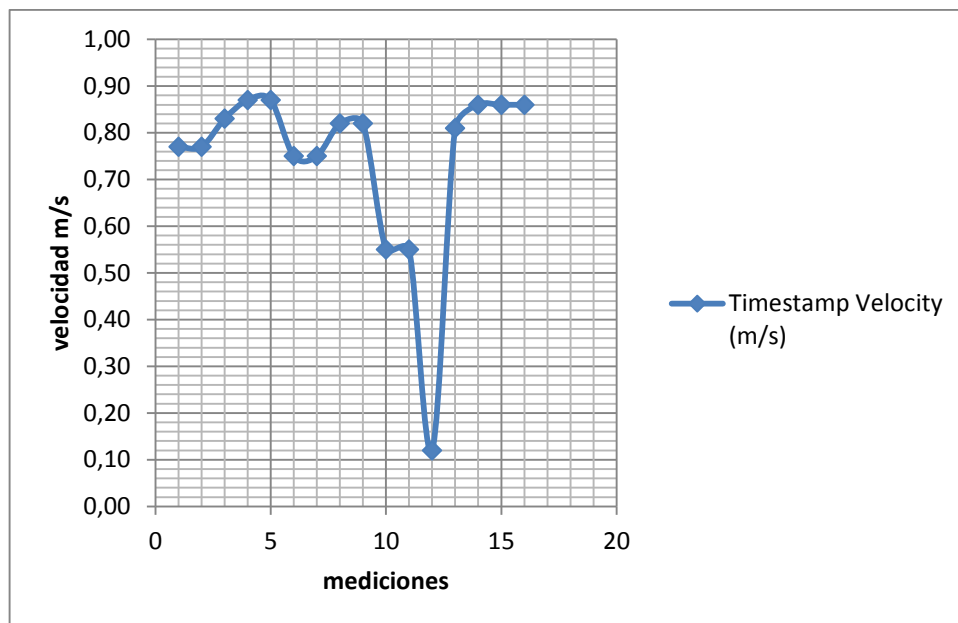


Figura 25: grafica de velocidad prueba 1

Tabla 11: velocidades prueba 2

| Sample | Timestamp | Velocity (m/s) |
|--------|---------------------|----------------|
| 1 | 14:42:45 11.29.2015 | 0.19 |
| 2 | 14:42:45 11.29.2015 | 0.19 |
| 3 | 14:42:46 11.29.2015 | 0.19 |
| 4 | 14:42:47 11.29.2015 | 0.19 |
| 5 | 14:42:57 11.29.2015 | 0.42 |
| 6 | 14:43:03 11.29.2015 | 0.57 |
| 7 | 14:43:04 11.29.2015 | 0.57 |
| 8 | 14:43:04 11.29.2015 | 0.57 |
| 9 | 14:43:07 11.29.2015 | 0.57 |
| 10 | 14:43:07 11.29.2015 | 0.57 |
| 11 | 14:43:08 11.29.2015 | 0.57 |
| 12 | 14:43:08 11.29.2015 | 0.57 |
| 13 | 14:43:16 11.29.2015 | 0.74 |

| | | |
|----|---------------------|------|
| 14 | 14:43:34 11.29.2015 | 0.67 |
| 15 | 14:43:37 11.29.2015 | 0.67 |
| 16 | 14:43:40 11.29.2015 | 0.67 |
| 17 | 14:43:43 11.29.2015 | 0.84 |
| 18 | 14:43:56 11.29.2015 | 0.77 |
| 19 | 14:43:57 11.29.2015 | 0.77 |
| 20 | 14:44:05 11.29.2015 | 0.69 |
| 21 | 14:44:17 11.29.2015 | 0.73 |
| 22 | 14:44:22 11.29.2015 | 0.73 |
| 23 | 14:44:28 11.29.2015 | 0.76 |
| 24 | 14:44:32 11.29.2015 | 0.76 |
| 25 | 14:44:37 11.29.2015 | 0.96 |
| 26 | 14:44:39 11.29.2015 | 0.96 |
| 27 | 14:44:41 11.29.2015 | 0.96 |
| 28 | 14:44:45 11.29.2015 | 0.88 |
| 29 | 14:44:53 11.29.2015 | 0.84 |
| 30 | 14:44:55 11.29.2015 | 0.84 |
| 31 | 14:44:56 11.29.2015 | 0.84 |
| 32 | 14:44:57 11.29.2015 | 0.84 |
| 33 | 14:44:59 11.29.2015 | 0.84 |
| 34 | 14:45:03 11.29.2015 | 0.84 |
| 35 | 14:45:04 11.29.2015 | 0.73 |
| 36 | 14:45:05 11.29.2015 | 0.73 |
| 37 | 14:45:05 11.29.2015 | 0.73 |
| 38 | 14:45:06 11.29.2015 | 0.73 |
| 39 | 14:45:08 11.29.2015 | 0.73 |
| 40 | 14:45:08 11.29.2015 | 0.73 |
| 41 | 14:46:36 11.29.2015 | 0.00 |
| 42 | 14:46:36 11.29.2015 | 0.00 |
| 43 | 14:46:45 11.29.2015 | 0.95 |

| | | |
|----|---------------------|------|
| 44 | 14:46:47 11.29.2015 | 0.95 |
| 45 | 14:46:48 11.29.2015 | 0.95 |
| 46 | 14:46:49 11.29.2015 | 0.95 |
| 47 | 14:46:50 11.29.2015 | 0.95 |
| 48 | 14:46:50 11.29.2015 | 0.95 |
| 49 | 14:46:51 11.29.2015 | 0.95 |
| 50 | 14:46:52 11.29.2015 | 0.95 |
| 51 | 14:46:52 11.29.2015 | 0.95 |
| 52 | 14:46:52 11.29.2015 | 0.95 |
| 53 | 14:46:53 11.29.2015 | 1.07 |
| 54 | 14:46:53 11.29.2015 | 1.07 |
| 55 | 14:46:53 11.29.2015 | 1.07 |
| 56 | 14:46:54 11.29.2015 | 1.07 |
| 57 | 14:46:55 11.29.2015 | 1.07 |
| 58 | 14:46:56 11.29.2015 | 1.07 |
| 59 | 14:46:57 11.29.2015 | 1.07 |
| 60 | 14:46:57 11.29.2015 | 1.07 |
| 61 | 14:46:58 11.29.2015 | 1.07 |
| 62 | 14:46:58 11.29.2015 | 1.07 |
| 63 | 14:46:58 11.29.2015 | 1.07 |
| 64 | 14:47:01 11.29.2015 | 1.07 |
| 65 | 14:47:02 11.29.2015 | 1.07 |
| 66 | 14:47:03 11.29.2015 | 1.07 |
| 67 | 14:47:04 11.29.2015 | 1.07 |
| 68 | 14:47:05 11.29.2015 | 1.07 |
| 69 | 14:47:11 11.29.2015 | 1.07 |
| 70 | 14:47:15 11.29.2015 | 0.97 |
| 71 | 14:47:16 11.29.2015 | 0.97 |
| 72 | 14:47:18 11.29.2015 | 0.97 |
| 73 | 14:47:19 11.29.2015 | 0.97 |

| | | |
|----|---------------------|------|
| 74 | 14:47:20 11.29.2015 | 0.97 |
| 75 | 14:47:21 11.29.2015 | 0.97 |

En el segundo día, se logró identificar una zona donde se encontraban velocidades aproximad de 1,07m/s esta zona seria la indicada para la instalación del equipo, la metodología de esta mediciones fueron de rastreo por eso la naturaleza de las gráficas y su variabilidad. Cabe recalcar que el valor de la velocidad en la medición 41 fue producto de un error ocasionado por el movimiento relativo de la barca, por lo que se descarta de dicho análisis.

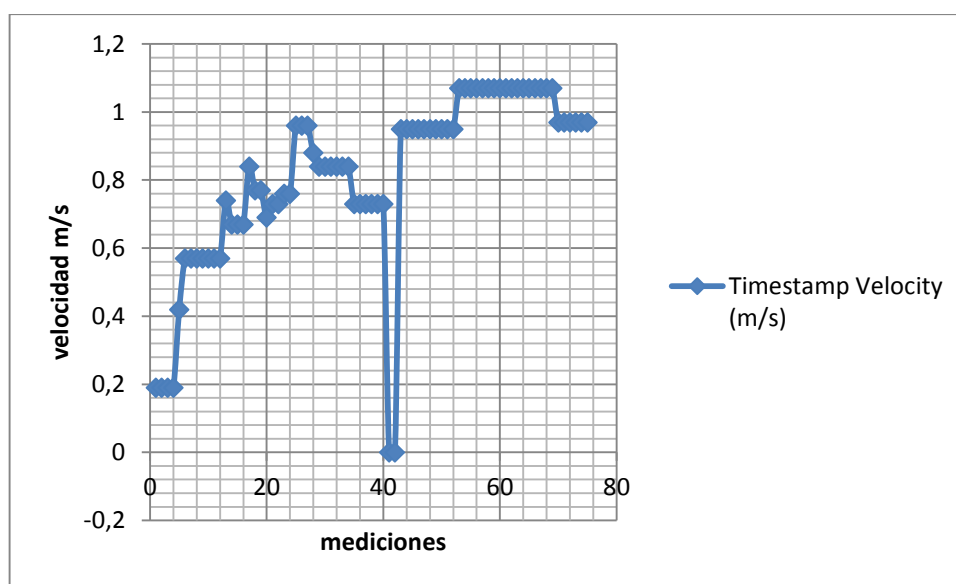


Figura 26 : grafica de velocidades prueba 2

12.4.2 Sección transversal del río en civilcad 3d

Este es el segundo parámetro en importancia y va de la mano del anterior (velocidad) porque hay que garantizar las dos ya que este parámetro representa las limitaciones técnicas del equipo. Y por tanto hay que se logre encontrar una velocidad mínima para la operación del sistema y que a su vez esta zona cumpla con las profundidades para la instalación.

Es de gran relevancia consultar a los pobladores acerca de las condiciones del río en diferente épocas del año, sus experiencias son vitales al momento de emprender una investigación, permiten ahorrar recurso y tiempo.

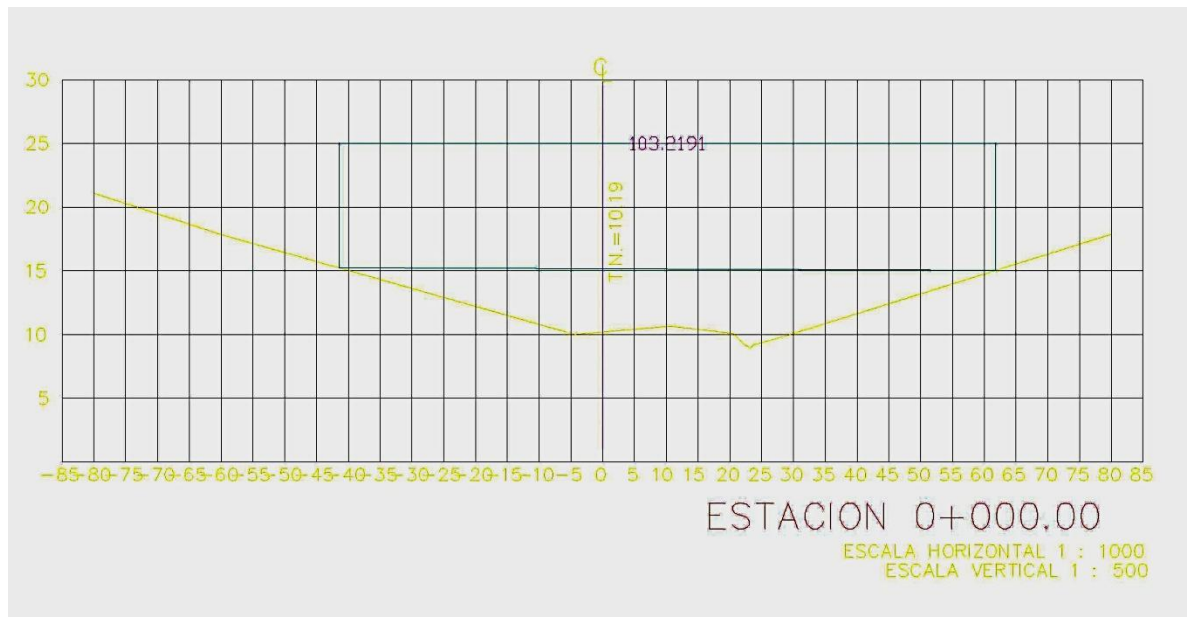


Figura 27: sección 1

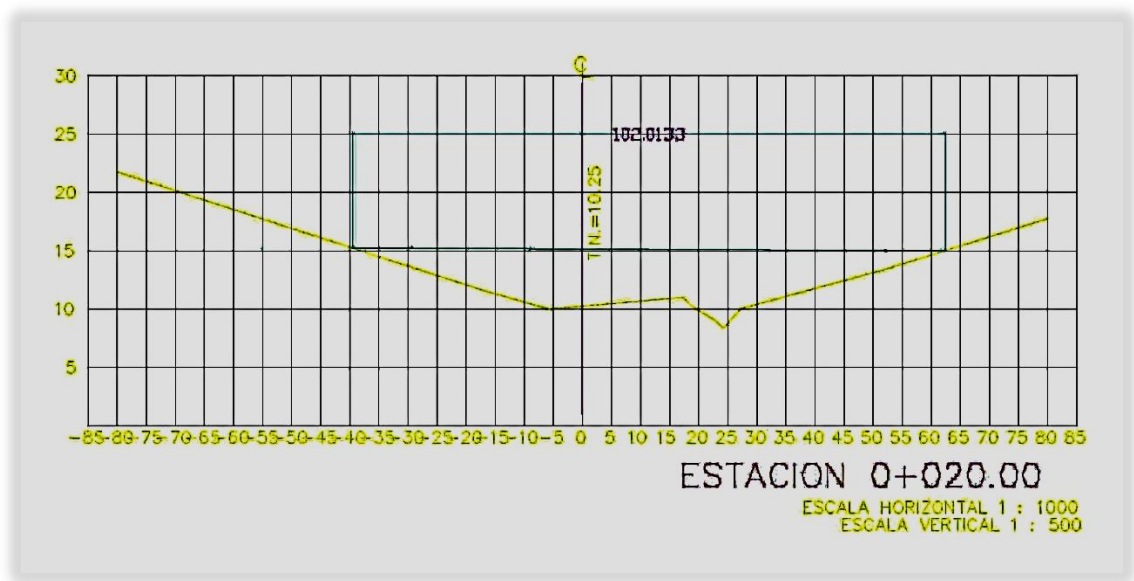


Figura 28: sección 2

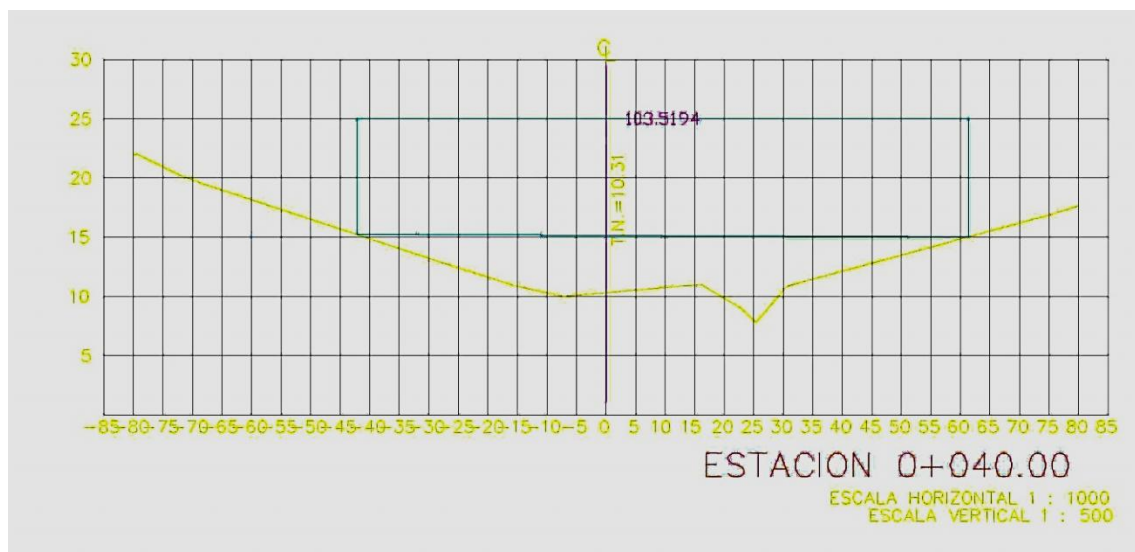


Figura 29: sección 3

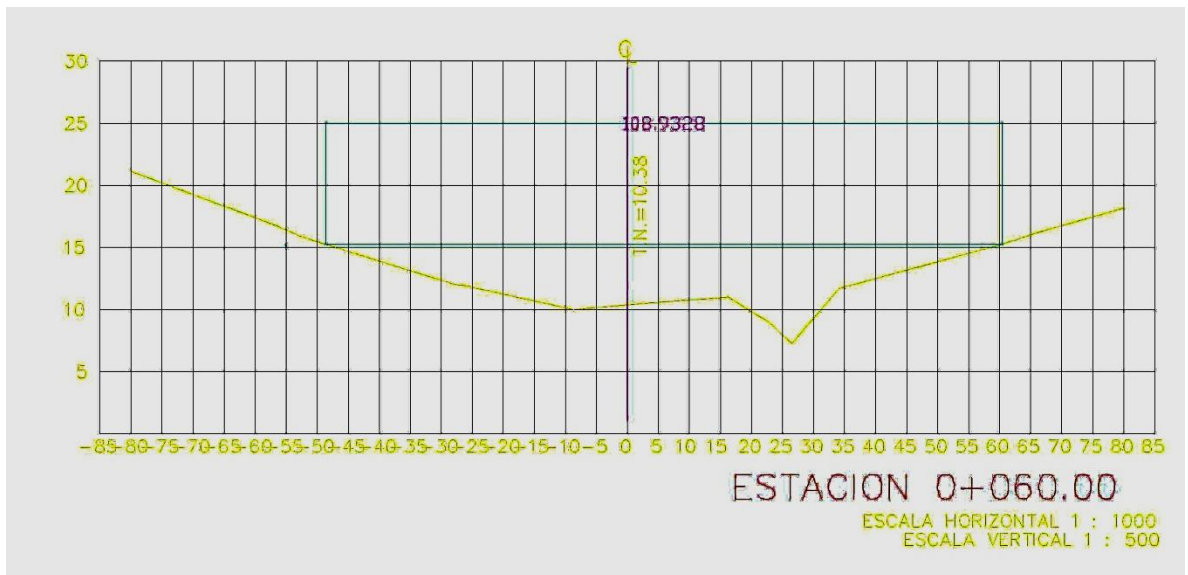


Figura 30: sección 4

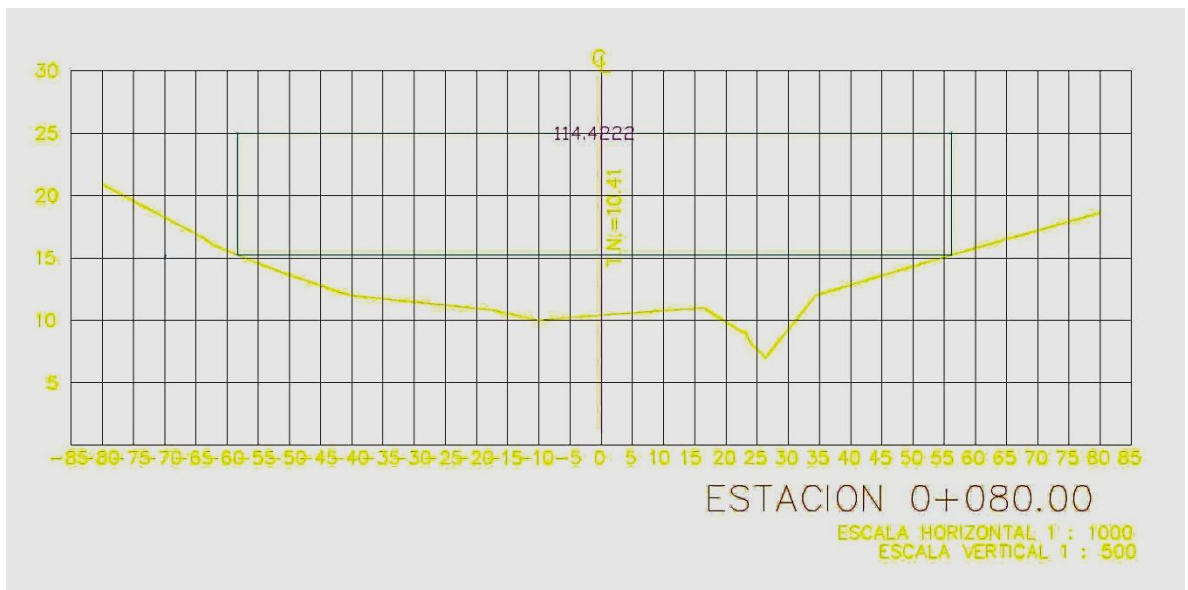


Figura 31:seccion 5

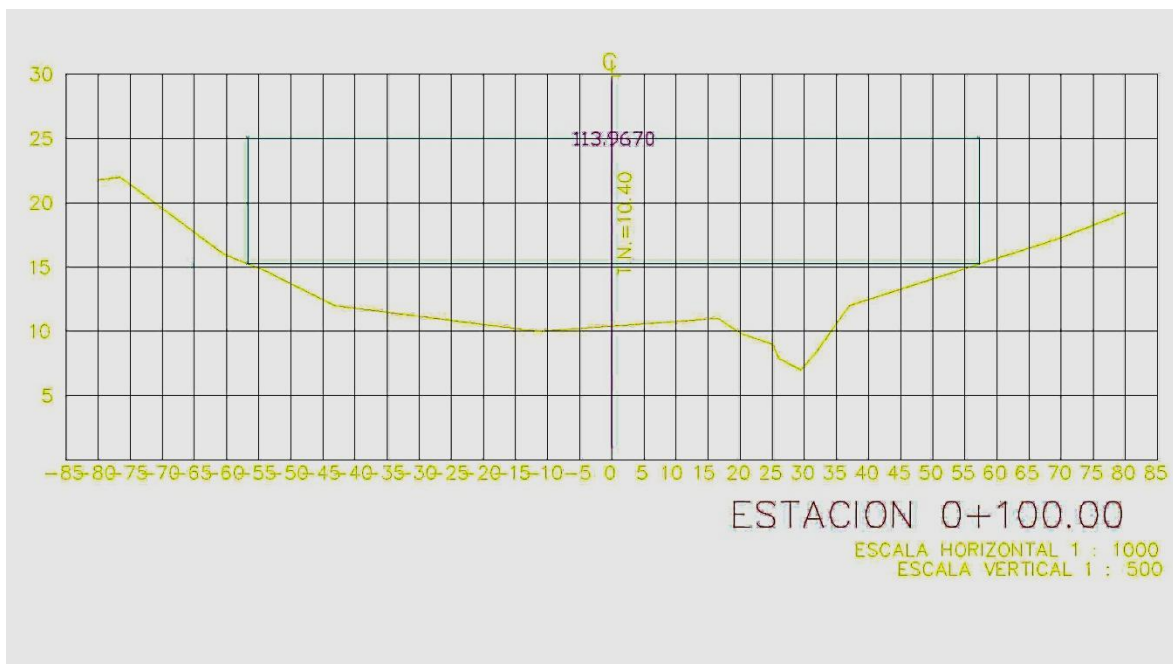


Figura 32: sección 6

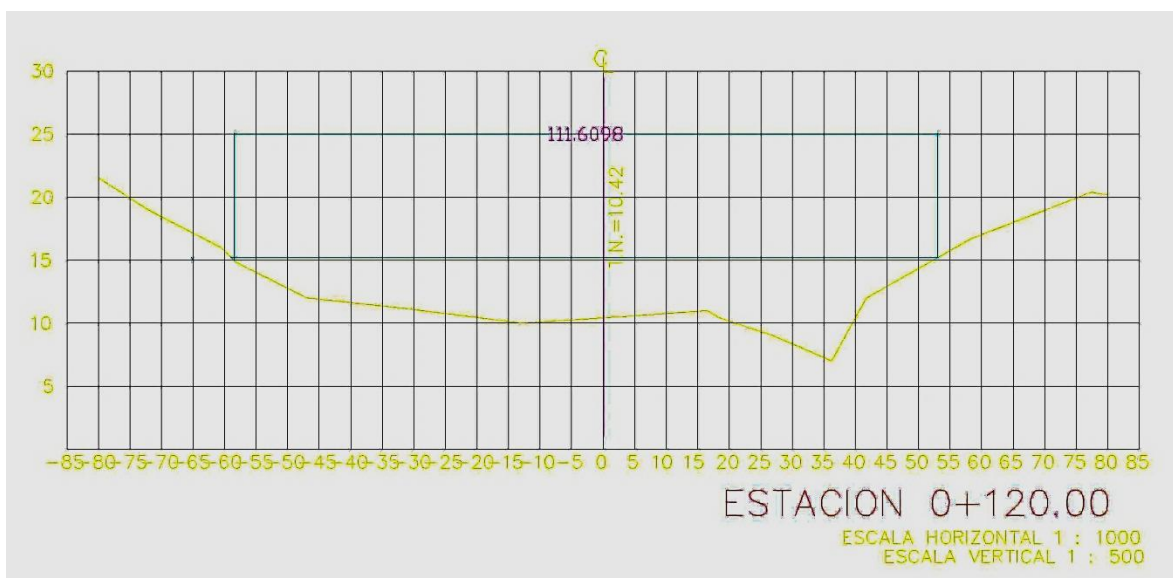


Figura 33: sección 7

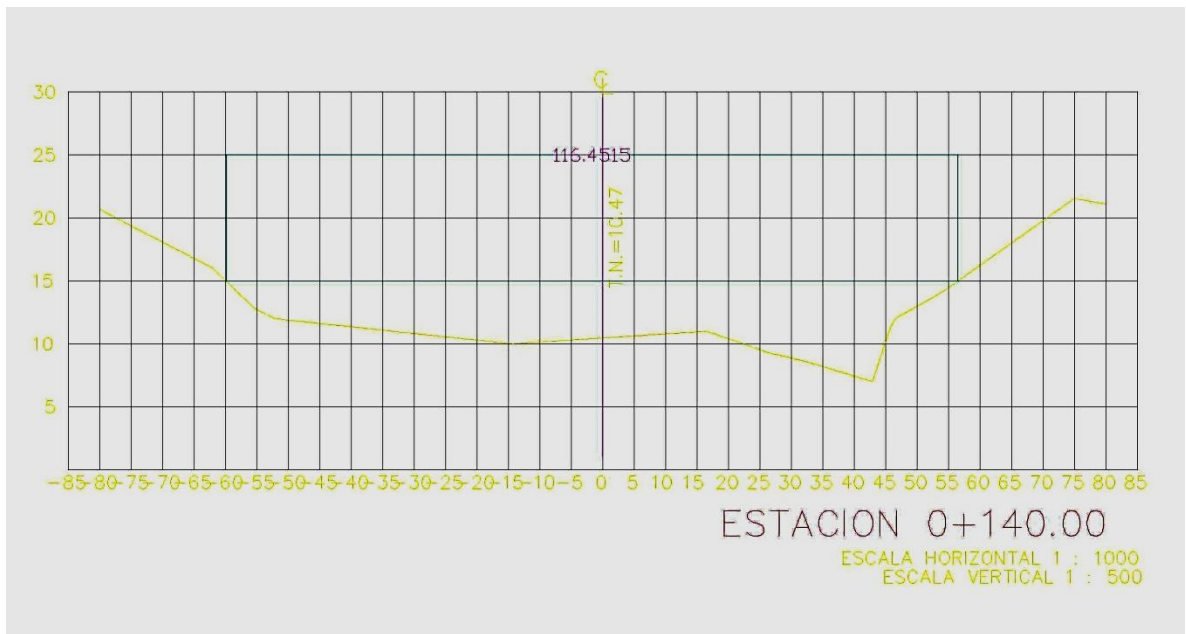


Figura 34: sección 8

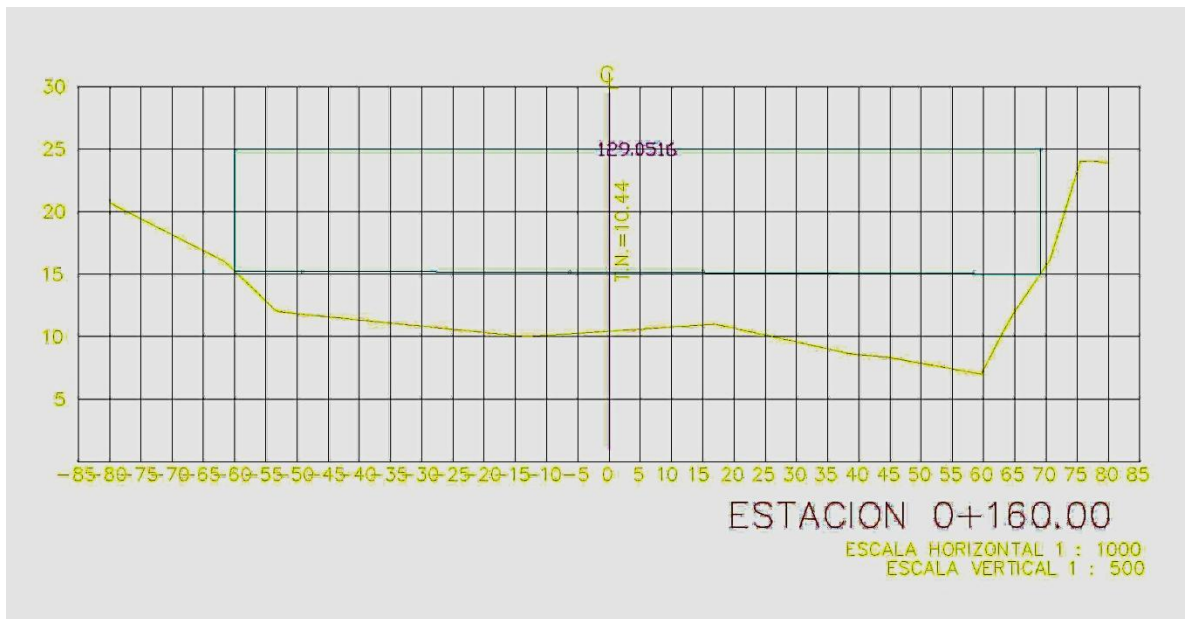


Figura 35: sección 9

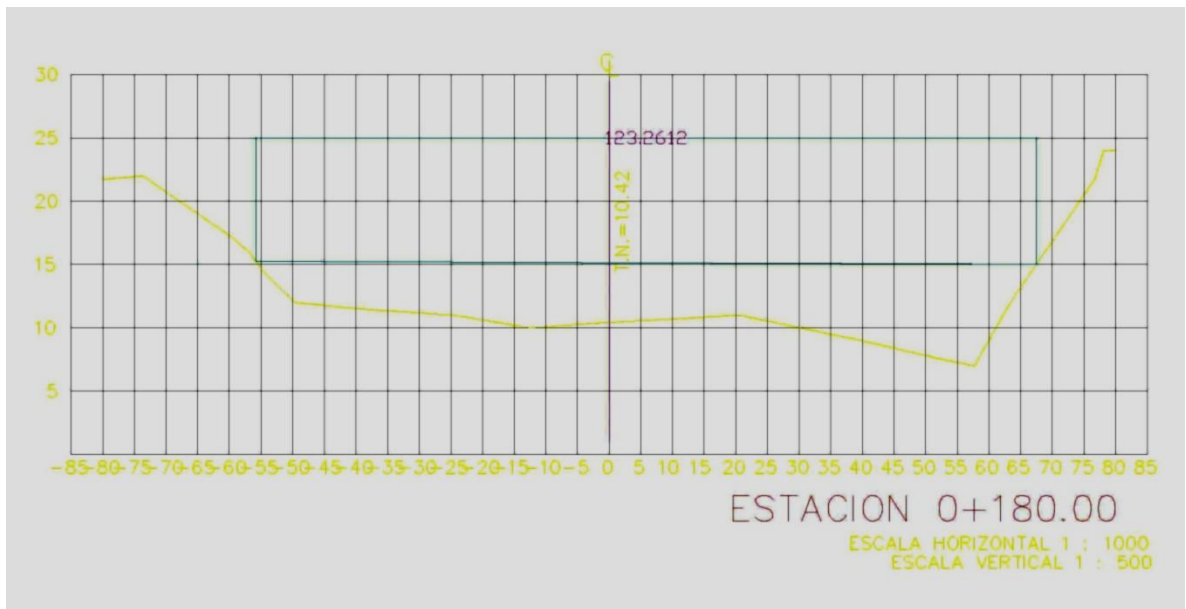


Figura 36: sección 10

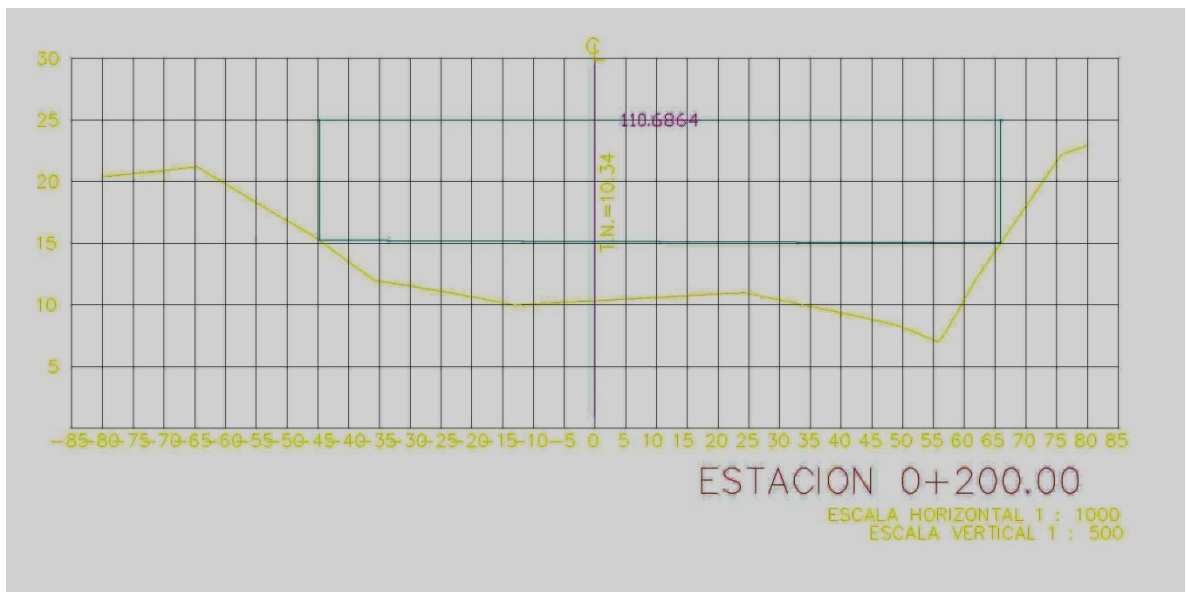


Figura 37: sección 11

El río Chicagua cuenta con profundidades del orden de hasta 8 metros a lo largo y achos de los 200 metros en los que se realizó la batimetría, específicamente en el kilómetro 0+160 donde la velocidad es del orden de los 1m/s el río presenta en el

eje horizontal entre 30 y 65 profundidades del orden de 5m-7,5m esta zona seria la ideal para el aprovechamiento de la tecnología.

Desde la perspectiva ingenieril se puede concluir que el lado derecho de dicha sección del rio se encuentra con una pendiente con una alta probabilidad de erosión, teniendo en cuenta la deformación y concentración de esfuerzos cortantes debido al flujo dicha geometría, por lo tanto se recomienda un estudio de erosión del suelo y de sedimentación, teniendo en cuenta los datos que describen la sección transversal del rio y el punto o el área recomendada.

12.5 Selección de la Tecnología debido a las restricciones técnicas del rio.

El análisis de las tecnología es una de las partes fundamentales de este trabajo, hay métodos para la escogencia de las tecnología una de esto es dándole peso a las condiciones que enfrentara, su funcionalidad, desempeño, calidad, impacto ambiental, impacto socioeconómico. Cabe resaltar que casi ninguna de las tecnología mencionadas en el marco teórico aplican o funcionan de manera eficiente en estas circunstancias, ya que las velocidades del rio son relativamente bajas(0.7-1m/s) y las velocidades más bajas en el punto de operación de las diferentes tecnologías son de 1,5 m/s aproximadamente y una velocidad menor provocaría una eficiencia baja, altos costos, pérdidas de tiempo e incluso la posibilidad de la no operación n del sistema de aducción, Sin embargo la tecnología Vivace que imita el movimiento de los peses para nadar contra la corriente cumple efectivamente en estas circunstancias, su nombre comercial Vórtice inducido por vibración para energía limpia acuática (vivace).

13 ¹⁵DETALLES TECNOLOGÍA VIVACE

El convertidor de VIVACE es una tecnología de transformación. Se nutre de una nueva fuente de energía limpia y renovable, la de las corrientes de agua tan lenta como de 2 a 3 nudos previamente fuera del alcance de la tecnología de turbina convencional que se dirigen a los ríos y las corrientes oceánicas con agua una velocidad superior a 4 nudos.

En una corriente de fluido de vórtices . La emisión de vórtices se alterna desde un lado de un cuerpo a otro, creando así un desequilibrio de presión que resulta en un ascensor oscilatorio figura 24.

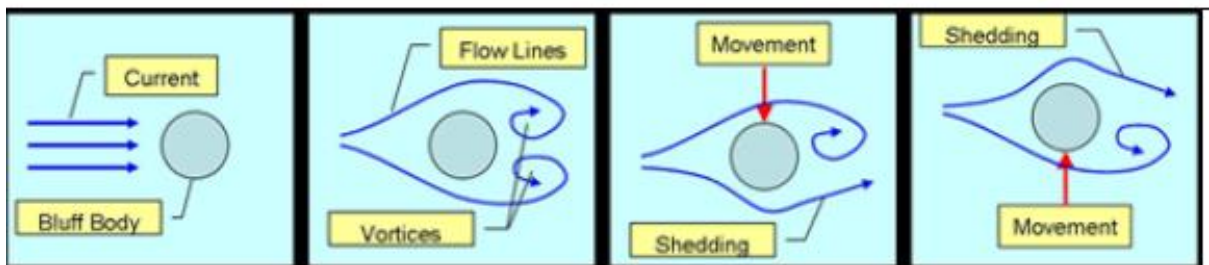


figura 38: fenómeno de oscilación

En la realización de la matriz de prueba para constante de resorte y amortiguación, se construye una envolvente de potencia. Esta dotación representa una ventana de funcionamiento grande para el dispositivo de VIVACE para diversas condiciones de flujo en los sitios de instalación. Con esta información, la empresa que comercializa el vivace puede configurar los parámetros de un dispositivo para optimizar la generación de energía en base a los requerimientos específicos de energía y de sitio para un cliente individual. Por ejemplo, si esta empresa tenía un cliente en un sitio nuevo con una velocidad de flujo de 2 nudos, la envolvente de potencia mostraría la constante elástica óptima y valor de atenuación para configurar el dispositivo con la generación de energía máxima en

¹⁵ (Bernitsas M.M., Raghavan K., "Converter of Current, Tide, or Wave Energy", United States Patent and Trademark Office, Patent# 7,493,759 B2 issued on February 24, 2009., 2016)

ese sitio. Si el cliente ha completado un estudio y determinó que la velocidad era más rápido - es decir, 3 nudos, la empresa sólo tendría que buscar la nueva constante del resorte y el valor de atenuación en la envolvente de potencia (sin necesidad de pruebas adicionales para extrapolar las predicciones de potencia) para asegurarse de que el dispositivo se creó apropiadamente para la operación de alta eficiencia. La curva de generación de energía para este experimento se muestra en la ilustración 25

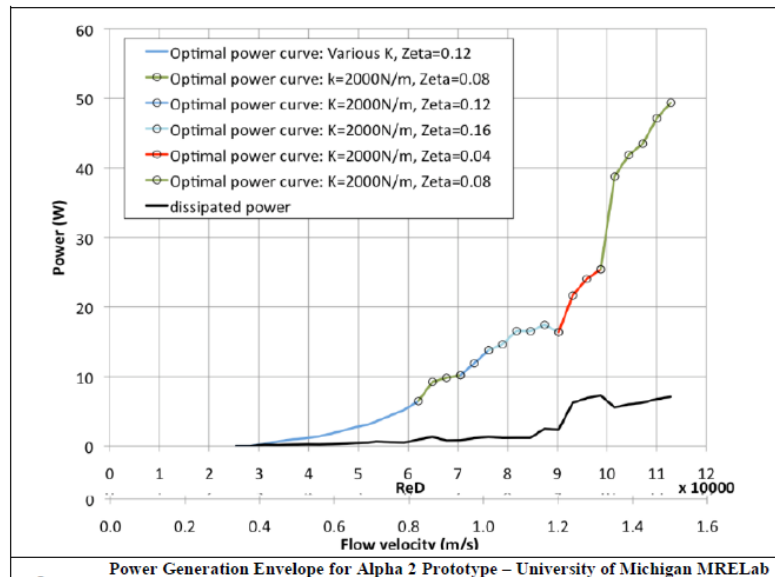


figura 39: envolvente de generación de energía

Prototipos optimizado por Vortex Hydro Energy. Todas las modificaciones mecánicas y eléctricas de diseño se llevaron a cabo con éxito en el Gamma Prototipo. La estructura del prototipo beta también se ha actualizado correctamente reequipar el prototipo Gamma interior de la misma para las pruebas de aguas abiertas.

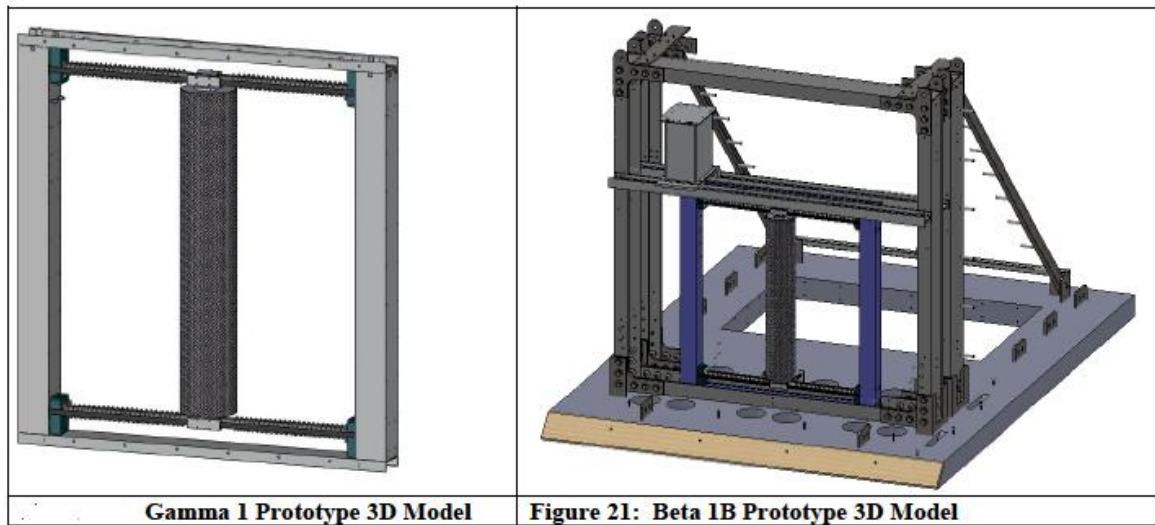


figura 40 : prototipo propiedad de Vortex Hydro Energy.

a una escala comercial , un módulo sugerido ha sido diseñado y se muestra en la Figura 43 - el Su rendimiento Oscylator 33. se muestra en la Figura 44. La salida de energía se calcula en función de la velocidad del flujo , pero el unidad se supone que se opera a 3,2 nudos para generar 33,3 kW. Las velocidades más altas generarán mucha más potencia . Varias unidades se pueden implementar en un solo lugar para formar una granja para llegar a la producción a escala de servicios públicos, lo que atraerá la atención de las empresas de servicios públicos cerca de los ríos y océanos. El hecho de que dicha fuente de energía puede proporcionar la base en lugar de intermitente como el viento, las olas y los conjuntos solares del Oscylator 33 en alta demanda. Las posibilidades son infinitas con una fuente de energía renovable, tales predecible.

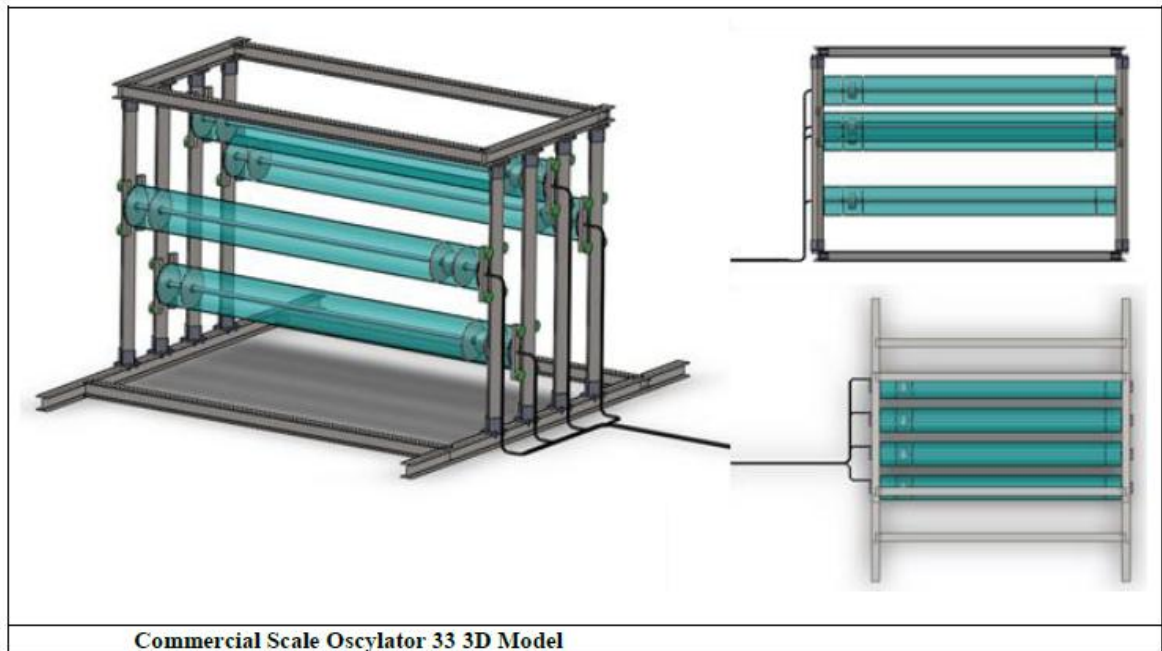


figura 41 : modelo comercial.

14 Estimación de los costos de las diferentes propuestas de ahorro con la tecnología no convencional seleccionada.

A continuación, se observa los costos generados por una posible interconexión a la red eléctrica de la zona aledaña al río, la tecnología que se encuentra actualmente utilizando el sistema de aducción y la tecnología no convencional seleccionada en esta investigación.

$$\text{valor del m}^3 \text{ (a.c.p.m)} = \frac{\text{costo total de opeacion (a.c.p.m)/dia}}{\frac{\text{caudal maximo horario}}{1000} * 3600 * \# \text{ de horas de bombeo}}$$

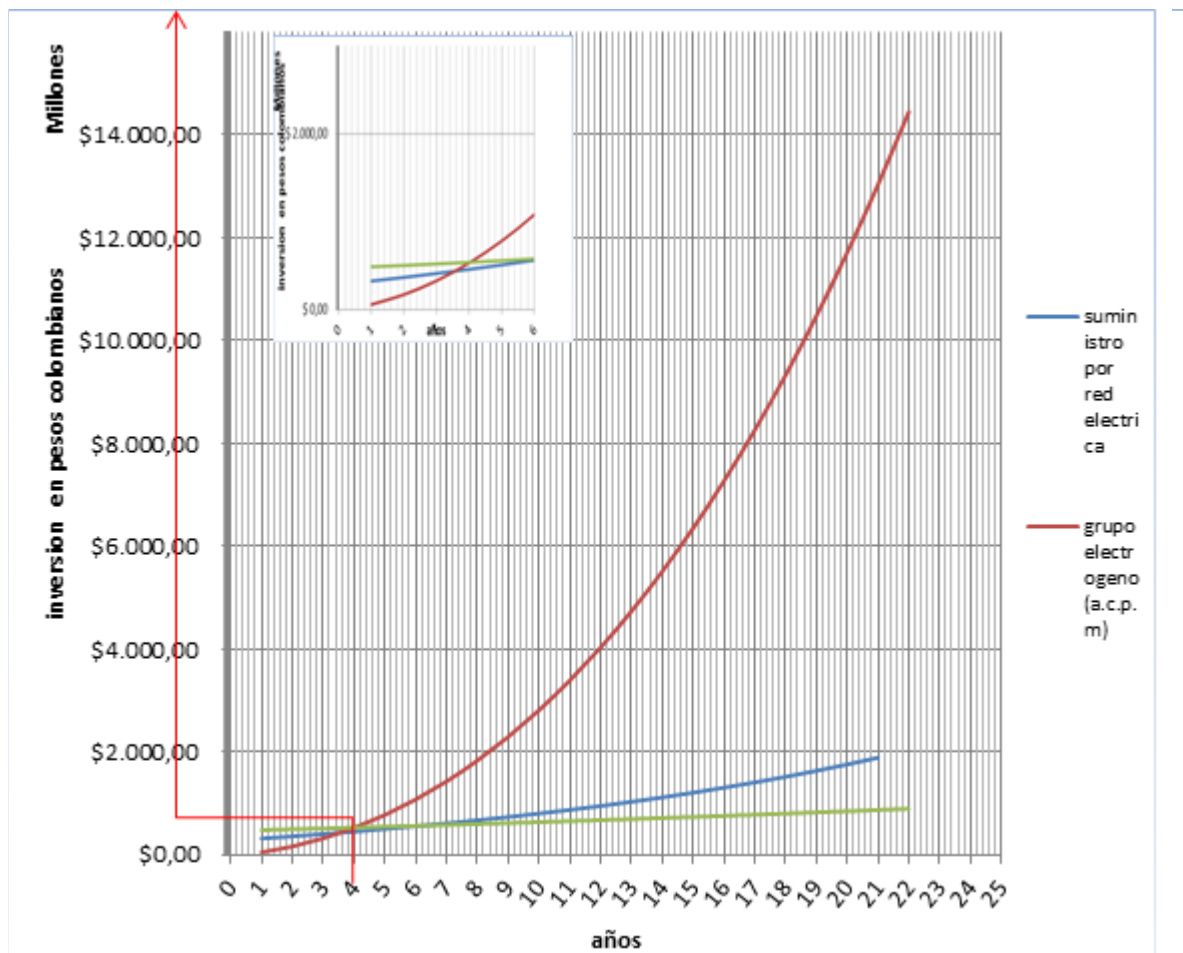
$$G.A.S.E = \text{inversion inicial equipo} + \text{valor del m}^3 \text{ (a.c.p.m)} * 365$$

$$G.A.S.E = \text{gasto anuales del sistema electrogeno;} (\$)$$

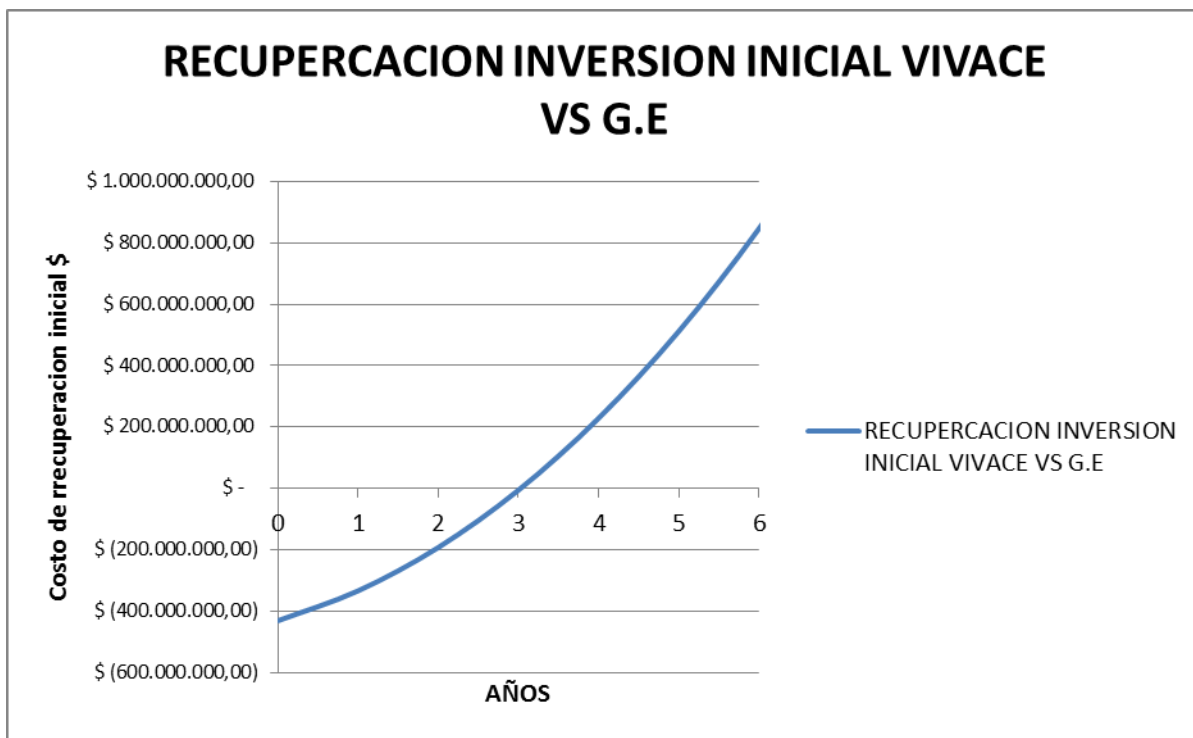
$$G.A.S.RE = \text{inversion inicial red media tension} + \text{consumo de bomba} \frac{KW}{AÑOS} * \text{precio KW};(\$)$$

$$G.A.S.VIVACE = \text{inversion inicial (vivace)} + \text{costos de mantenimiento};(\$)$$

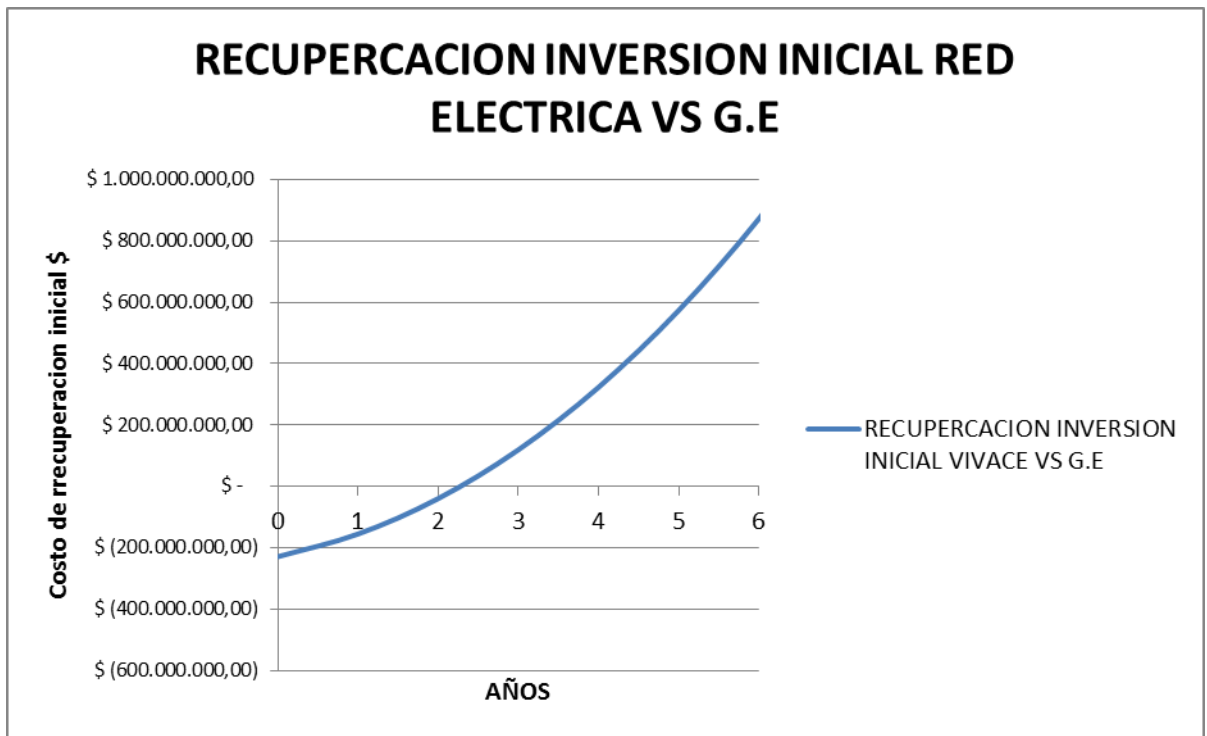
$$\text{costos de mantenimiento} = 183 \text{ pesos/kw};$$



Se presentan los costos de la red eléctrica y el grupo electrógeno para observar cuando se recupera la inversión del Vivace.



A continuación se compara los costos de la red eléctrica y el grupo electrógeno para observar cuando se recupera la inversión inicial de la instalación de la red eléctrica. Se estima que podría recuperarse la inversión entre 2 y 3 años.



Como se puede observar en la gráfica anterior, se recupera entre los 3 y 4 años la inversión inicial de la red eléctrica.

15 Análisis de los resultados

De aquí se parte para realizar un análisis económico y contraponer los sistemas convencionales que hemos mencionados como los grupos estrógenos, la opción de una interconexión eléctrica y de una tecnología no convencional, resultado de una selección y análisis (Tecnología vivace). A continuación se presenta una gráfica comparativa de los costos descriptivos de los sistemas.

Como se puede observar en la gráfica de costos en los diferentes años, el grupo electrógeno (color rojo) tiene un intersepto menor a las demás tecnologías, lo que corresponde una inversión inicial baja, pero es evidente que estos crecen rápidamente superando a las demás tecnologías después de 4 años. En relación a la red eléctrica (azul) se evidencia, una pendiente mayor a la tecnología no convencional (verde) superando los costos de esta, después de 7 años.

La inversión inicial de la red eléctrica se recupera entre 3 y 4 años y la tecnología Vivace entre 2 y 3 años, teniendo como referencia el grupo electrógeno. Sin embargo, los ahorros generados por el uso de la tecnología no convencional (vivace) en relación con el grupo estrógeno es de \$ 13.549.055.546,13 y con la red eléctrica es de \$ 12.556.023.601,76 en 20 años.

16 Conclusiones

Como resultado del estudio presentado, es posible concluir Que los sistemas que generan energías de fuentes no renovables, como también los que generan en energías. pero que tiene un costo ambiental grande, ya se pueden comparar de forma competitiva con los que aprovecha las fuentes renovable y a su vez son amigables con el medio ambiente, en un escenario que eran considerados muy desfavorables para este último, como es el caso de las corrientes de río en llanuras. Ello es así que, el grupo electrógeno no es factible económicamente, debido a los precios de los combustibles fósiles y su tendencia en los próximos años, Y que este solo debería ser tenido en cuenta por motivos de emergencia.

Después de realizar un estado del arte e las tecnologías no convencionales en el mercado, la que cumple y mejor se adaptó a los requerimientos y restricciones técnicas asociados a las variables de ingeniería como la velocidad de la corriente del río ($0.7 < v < 1$ m/s) fue la turbina Vivace.

De las alternativas de estudio, se obtiene a prioridad de solución tecno-económica, en este orden: 1. Tecnología Vivace, 2.interconexion a la red eléctrica. Además la representación del ahorro total de la interconexión eléctrica fue de \$ 12.556.023.601 pesos colombianos con respecto al grupo electrógeno en 20 años y de la tecnología Vivace (turbina hidro-cinetica) fue de 13.549.055.546 pesos colombianos, con una diferencia de \$ 993.031.944 pesos colombianos, evidenciando una recuperación de la inversión inicial de la red eléctrica entre los años 3 y 4 y la tecnología Vivace entre los años 2 y 3, teniendo como referencia el grupo electrógeno. además La tecnología vivace puede ser aplicada en el kilómetro 0+160 teniendo como referente al sitio de captación aguas abajo, ya que en esta zona se cumplen los parámetros de velocidad y profundidad.

Desde la perspectiva ingenieril se puede concluir que el lado derecho de dicha sección del río se encuentra con una pendiente con una alta probabilidad de

erosión, teniendo en cuenta la deformación y concentración de esfuerzos cortantes debido al flujo dicha geometría, por lo tanto se recomienda un estudio de erosión del suelo y de sedimentación, teniendo en cuenta los datos que describen la sección transversal del río y el punto o el área recomendada.

Debe darse una respuesta inmediata a generación de energía eléctrica en zonas no interconectadas debido a efectos contraproducentes en la educación, salud y servicios sociales.

17 Bibliografía

- [1] <https://es.wikipedia.org/wiki/Cicuco>.
- [2] <http://www.igac.gov.co/igac>
- [3] <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidrolog%C3%ADa>
- [4] Las energías renovables: un enfoque político-ecológico, autor Emilio Menéndez Pérez, pág. 79.
- [5] Estado del arte Dispositivos de Conversión energía cinética de las corrientes marinas. (2016).
- [6] González Velasco, J. (2009). Energías renovables (p. 300). barcelona: Reverte, 2009.
- [7] <http://www.seageneration.co.uk/>
- [8] <http://www.verdantpower.com/technology.html>
- [9] <http://edge.rit.edu/edge>
- [10] <http://www.gcktechnology.com>

- [11] <http://www.gcktechnology.com>
- [12] <http://www.lunarenergy.co.uk/productOverview.htm>
- [13] www.vortexhydroenergy.com
- [14] Design of a Power Take Off System for the VIVACE Generator
- [15] informe de hidráulica unión temporal aguas del Cicuco
- [16] López Cualla, R. (1995).
- [18] (Bernitsas M.M., Raghavan K., “Converter of Current, Tide, or Wave Energy”, United States Patent and Trademark Office, Patent# 7,493,759 B2 issued on February 24, 2009., 2016)

| | costo del m3 | | total costo dias | total costos años | gastos x kw | | | |
|------------------------------|-------------------|--------------|---------------------------|---|---------------|---------------------------|-----------|--|
| | | | Bomba | | | | | |
| | | | 9,3 | | | | | |
| | | | valor kw en Colombia | | | | | |
| | | | 452,42 | | | | | |
| Sistema de energia eléctrica | | | | | | | | |
| | invercion inicial | | | invercion inicial | | gastos anuales de sistema | | |
| | invercion inicial | | | gastos anuales de sistema | | gastos anuales de sistema | | |
| año | | | gastos anuales de sistema | kw/h con respecto a una bomba comercial | KW/DIA | | | |
| 2015 | 174,0 | \$ 310,326 | \$ 55,045,223,0 | 19,9 | 238,531,944,4 | \$ 283,111,973,00 | \$ 454,42 | |
| 2016 | 237,0 | \$ 431,114 | \$ 113,269,132,4 | 20,3 | 243,298,611,1 | \$ 41,968,482,95 | \$ 472,60 | |
| 2017 | 300,0 | \$ 556,676 | \$ 203,186,627,2 | 20,7 | 248,191,666,7 | \$ 44,525,025,40 | \$ 491,50 | |
| 2018 | 363,0 | \$ 687,189 | \$ 250,823,994,0 | 21,1 | 253,211,111,1 | \$ 47,242,522,51 | \$ 511,16 | |
| 2019 | 426,0 | \$ 822,775 | \$ 300,313,025,1 | 21,5 | 258,338,889,9 | \$ 50,127,199,98 | \$ 531,61 | |
| 2020 | 488,9 | \$ 963,720 | \$ 351,757,775,4 | 22,0 | 263,611,111,1 | \$ 53,196,212,23 | \$ 552,87 | |
| 2021 | 551,9 | \$ 1,110,152 | \$ 405,205,540,1 | 22,4 | 269,009,722,2 | \$ 56,457,067,16 | \$ 574,99 | |
| 2022 | 614,9 | \$ 1,262,251 | \$ 460,721,499,5 | 22,9 | 274,534,722,2 | \$ 59,921,262,80 | \$ 597,99 | |
| 2023 | 677,9 | \$ 1,420,377 | \$ 518,437,643,0 | 23,4 | 280,222,222,2 | \$ 63,609,149,53 | \$ 621,91 | |
| 2024 | 740,9 | \$ 1,584,561 | \$ 578,364,757,5 | 23,8 | 286,036,111,1 | \$ 67,526,030,46 | \$ 646,78 | |
| 2025 | 803,9 | \$ 1,755,198 | \$ 640,647,247,5 | 24,3 | 292,012,5 | \$ 71,694,383,93 | \$ 672,65 | |
| 2026 | 866,9 | \$ 1,932,518 | \$ 705,368,916,6 | 24,8 | 298,151,388,9 | \$ 76,129,656,61 | \$ 699,56 | |
| 2027 | 929,9 | \$ 2,116,624 | \$ 772,567,748,3 | 25,4 | 304,434,722,2 | \$ 80,843,397,67 | \$ 727,54 | |
| 2028 | 992,9 | \$ 2,307,989 | \$ 842,416,081,8 | 25,9 | 310,898,611,1 | \$ 85,862,295,42 | \$ 756,64 | |
| 2029 | 1055,9 | \$ 2,506,726 | \$ 914,955,004,6 | 26,5 | 317,525 | \$ 91,200,029,06 | \$ 786,91 | |
| 2030 | 1118,8 | \$ 2,713,215 | \$ 990,323,451,2 | 27,0 | 324,331,944,4 | \$ 96,881,335,54 | \$ 816,38 | |
| 2031 | 1181,8 | \$ 2,927,711 | \$ 1,068,614,536,7 | 27,6 | 331,319,444,4 | \$ 102,927,317,68 | \$ 851,12 | |
| 2032 | 1244,8 | \$ 3,150,470 | \$ 1,149,921,375,9 | 28,2 | 338,487,5 | \$ 109,360,303,08 | \$ 886,16 | |
| 2033 | 1307,8 | \$ 3,381,922 | \$ 1,234,401,526,4 | 28,8 | 345,854,166,7 | \$ 116,209,978,65 | \$ 920,57 | |
| 2034 | 1370,8 | \$ 3,622,349 | \$ 1,322,157,414,7 | 29,5 | 353,419,444,4 | \$ 123,502,056,22 | \$ 957,39 | |
| 2035 | 1433,8 | \$ 3,872,031 | \$ 1,413,291,467,2 | 30,1 | 361,183,333,3 | \$ 131,263,744,66 | \$ 996,69 | |

| Sistema de energía vivace | | | | | |
|--|--------|------------------|---------------------------|-----|------|
| inversion inicial | | | gastos anuales de sistema | | |
| kw /h con respecto a una bomba comercial | KW/DIA | \$ | valor del mantenimiento | año | |
| | | 485.100.000,00 | | | |
| 19,9 | 238,5 | \$ 16.019.805,39 | 184 | | 2015 |
| 20,3 | 243,3 | \$ 16.993.532,11 | 191,4 | | 2016 |
| 20,7 | 248,2 | \$ 18.028.706,20 | 199,0 | | 2017 |
| 21,1 | 253,2 | \$ 19.129.052,73 | 207,0 | | 2018 |
| 21,5 | 258,3 | \$ 20.297.092,55 | 215,3 | | 2019 |
| 22,0 | 263,6 | \$ 21.539.771,69 | 223,9 | | 2020 |
| 22,4 | 269,0 | \$ 22.860.130,18 | 232,8 | | 2021 |
| 22,9 | 274,5 | \$ 24.262.823,72 | 242,1 | | 2022 |
| 23,4 | 280,2 | \$ 25.756.092,41 | 251,8 | | 2023 |
| 23,8 | 286,0 | \$ 27.342.083,55 | 261,9 | | 2024 |
| 24,3 | 292,0 | \$ 29.029.898,87 | 272,4 | | 2025 |
| 24,8 | 298,2 | \$ 30.825.792,91 | 283,3 | | 2026 |
| 25,4 | 304,4 | \$ 32.734.442,08 | 294,6 | | 2027 |
| 25,9 | 310,9 | \$ 34.766.652,78 | 306,4 | | 2028 |
| 26,5 | 317,5 | \$ 36.927.963,88 | 318,6 | | 2029 |
| 27,0 | 324,3 | \$ 39.228.391,66 | 331,4 | | 2030 |
| 27,6 | 331,3 | \$ 41.676.480,90 | 344,6 | | 2031 |
| 28,2 | 338,5 | \$ 44.281.272,32 | 358,4 | | 2032 |
| 28,8 | 345,9 | \$ 47.054.786,48 | 372,8 | | 2033 |
| 29,5 | 353,4 | \$ 50.007.434,41 | 387,7 | | 2034 |
| 30,1 | 361,2 | \$ 53.150.233,30 | 403,2 | | 2035 |





